



## **Reutilização de Águas Residuais Tratadas na Rega de Espaços Verdes – Efeito da Salinidade nos Solos e nas Plantas**

**INÊS CARVALHAL AMARAL**  
(Licenciada em Saúde Ambiental)

Trabalho Final de Mestrado para a obtenção do grau de Mestre  
em  
Engenharia da Qualidade e Ambiente

Orientadores:

Professora Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo  
Professor Doutor Manuel Matos

Júri:

Presidente:

Professora Doutora Maria Teresa Loureiro dos Santos

Vogais:

Professora Doutora Maria de Fátima Nunes Carvalho  
Professora Doutora Ana Maria G. H. Barreiros Joanaz de Melo



## Agradecimentos

A elaboração deste trabalho não teria sido possível sem a colaboração, estímulo e empenho de diversas pessoas. Gostaria, por esse facto, expressar toda a minha gratidão e apreço a todos quando direta, ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho se tornasse possível. A todos, desde já, os meus sinceros agradecimentos.

À Prof<sup>ª</sup> Ana Barreiros e ao Prof. Manuel Matos, pela permanente dedicação pelo empenhamento na transmissão de conhecimentos e ao esforço contínuo em relação a este trabalho. Não poderia ter tido a sorte de encontrar melhores orientadores para este projeto.

À empresa SIMARSUL, em especial ao Eng. José Pacheco, Eng.<sup>a</sup> Olga Paredes, Eng.<sup>a</sup> Cristina Santos, Eng.<sup>a</sup> Maria Vieira e Sr. Domingos Aguiar, pela disponibilidade de informação e meios para a realização deste trabalho.

Ao Eng. Rui Simões da Divisão de Manutenção e Requalificação da Estrutura Verde da CML pelas plantas disponibilizadas para este trabalho.

Aos meus pais e irmã que foram excecionais em todos os níveis, com uma presença incansável. Sempre me orientaram, corrigiram e apoiaram em todas as minhas decisões. Aos meus avós que sempre deram tudo por mim e pela minha educação. Estou eternamente grata a todos vós.

Aos meus amigos, Catarina Portela, Luís Feijão, Miguel Felício, Joana Marçalo, Mariana Lewis, Joana Soares, Cátia Marcelino e Vitória Matos, sem vocês esta etapa teria sido mais difícil, um grande obrigado por serem um dos meus pilares.

Aos meus colegas de mestrado - Tânia Freire, Pedro Lopes, Mauro Rosário, Filipa Santos, Vânia Gomes, Carlos Ferreira, obrigada por estes 2 anos, sem vocês não teria tido a mesma graça.

Um especial obrigado ao Gil Novo e Isabel Agostinho, pela eterna paciência e carinho demonstrado.

Ao Gonçalo Nunes, pela paciência, companhia e ajuda nas longas horas passadas em laboratório.

Ao Rafael Almeida, por toda a ajuda e simpatia na colaboração neste projeto.

## Resumo

A água é, globalmente, um bem escasso, sobretudo a água “doce”. Prevê-se que as necessidades globais de água “doce” aumentem cerca de 20 a 30% até ao ano 2050. Segundo a ERSAR, em 2018, o consumo de água em Portugal através da rede de abastecimento foi de cerca de 1950 milhões de m<sup>3</sup>. No entanto a agricultura consome diretamente de furos, rios e albufeiras cerca de 8700 milhões de m<sup>3</sup> por ano. Este elevado consumo poderá levar num futuro próximo à escassez de água para rega, nomeadamente no sul de Portugal a que se juntarão os fatores adicionados pelas alterações climáticas. Importa assim avaliar a utilização de outras fontes de água para rega entre elas a reutilização da água residual tratada que é produzida pelas estações de tratamento de águas residuais (ETAR) e que na sua maioria é descarregada diretamente em meio hídrico. As ETAR tratam em Portugal cerca de 630 milhões de m<sup>3</sup>/ano de água tratada que na sua grande maioria não é aproveitada para rega ou outros fins. A utilização de águas residuais tratadas tem no entanto algumas limitações. Entre elas a possibilidade de contaminação microbiológica dos trabalhadores e utilizadores dos locais regados e também para os consumidores quando se trata de rega de produtos hortícolas. Para além destes problemas temos muitas situações em que existe intrusão de águas salgadas nos sistemas de drenagem e nas linhas de descarga costeiras. Esta intrusão salina pode comprometer o seu uso para rega e é uma situação vivida pela empresa SIMARSUL que gere o tratamento das águas residuais na Península de Setúbal e que foi parceira neste trabalho.

Neste trabalho avaliou-se o efeito da utilização de águas residuais tratadas com diferentes teores de salinidade na rega de relva, de plantas aromáticas (alecrim, alfavema e tomilho) e de culturas hortícolas (alface e couve-galega). Efetuaram-se ensaios de germinação com alface e couve-galega e ensaios de rega numa estufa com todas as espécies mencionadas e sob condições controladas. Avaliou-se o impacto na salinização do solo e no desenvolvimento das plantas. Os resultados suportaram-se em medidas de taxas de germinação e crescimento, medidas de condutividade e de pH dos solos, plantas e águas, e de medida do teor de clorofila nas plantas.

Os resultados obtidos mostram diferentes comportamentos com as espécies hortícolas, nomeadamente a alface, a suportar mal o aumento de salinidade. A relva apresenta uma elevada capacidade de adaptação ao aumento de salinidade das águas. Por seu lado, as plantas aromáticas têm no alecrim uma espécie bastante resistente ao aumento de salinidade das águas de rega sem que o seu teor de sal aumente significativamente. A alfavema e o tomilho apresentam uma resistência também assinalável mas com um aumento do teor de sais na sua composição. A nível de solos constata-se que o aumento dos teores de sais nos solos está

diretamente ligado à absorção de sais pela planta aí cultivada. Quando as espécies cultivadas absorvem os sais, os teores destes diminuem nos solos.

Globalmente a rega com a água residual tratada apresenta viabilidade e apenas se verifica alguma sensibilidade das plantas para os valores mais elevados de salinidade. O reaproveitamento destas águas será assim vantajoso a nível ambiental e também económico pelo que deverá ser incentivada esta prática sempre acompanhada dos procedimentos necessários para garantir a saúde e segurança dos intervenientes.

### **Palavras-Chave**

Água residual tratada; Reutilização; Salinidade; Rega; Espaços verdes; Plantas aromáticas; Culturas hortícolas; Relva

## Abstract

Water is, globally, a scarce commodity, especially “fresh” water. Global “fresh” water needs are expected to increase by 20 to 30% by the year 2050. According to ERSAR, in 2018, water consumption in Portugal through the supply network was around 1950 million m<sup>3</sup>. However, agriculture directly consumes about 8700 million m<sup>3</sup> per year of boreholes, rivers and reservoirs per year. This high consumption may lead in the near future to the scarcity of water for irrigation, namely in the south of Portugal, in addition to the factors added by climate change. Therefore, it is important to evaluate the use of other sources of water for irrigation, including the reuse of treated wastewater that is produced by wastewater treatment plants (WWTP) and that is mostly discharged directly into water. Wastewater treatment plants in Portugal treat around 630 million m<sup>3</sup> / year of treated water, the vast majority of which is not used for irrigation or other purposes. However, the use of treated wastewater has some limitations. Among them, the possibility of microbiological contamination of workers, users of irrigated places and also consumers of the vegetables. In addition to these problems, there are many situations in which salt water intrudes into drainage systems and coastal discharge lines. This saline intrusion can compromise its use for irrigation is a situation experienced by the company SIMARSUL that manages the wastewater treatment in the Setúbal Peninsula, a partner in this work.

In this work, the effect of using wastewater treated with different levels of salinity in the watering of grass, aromatic plants (rosemary, lavender and thyme) and vegetable crops (lettuce and kale) was evaluated. Germination tests were carried out with lettuce and kale and watering tests were carried out in a greenhouse with all the mentioned species and under controlled conditions. The impact on soil salinization and plant development was evaluated. The results were supported by measures of germination and growth rates, measures of conductivity and pH of soils, plants and waters, and measurement of chlorophyll content in plants.

The results obtained show different behaviors with horticultural species, namely lettuce, which barely supports the increase in salinity. The grass has a high capacity to adapt to the increase of water salinity. Aromatic plants have in rosemary a species that is quite resistant to the increase of salinity in irrigation waters without increasing its salt content significantly. Lavender and thyme also have a remarkable resistance, but with an increase in the content of salts in their composition. In terms of soils, it appears that the increase in the levels of salts in the soils is directly linked to the absorption of salts by the plant grown there. When cultivated species absorb salts, their levels decrease in soils.

Globally, irrigation with treated wastewater is viable and there is only some sensitivity of the plants to the highest salinity values. The reuse of these waters will thus be advantageous at the environmental and also economic level, so this practice should always be encouraged, accompanied by the necessary procedures to guarantee the health and safety of the stakeholders.

**Keywords**

Treated waste water; Reuse; Salinity; Watering; Green spaces; Aromatic plants; Horticultural crops; Grass

# Índice

|                                                                                                                    |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Agradecimentos .....                                                                                               | <i>i</i>    |
| Resumo .....                                                                                                       | <i>ii</i>   |
| Abstract .....                                                                                                     | <i>iv</i>   |
| Índice .....                                                                                                       | <i>vi</i>   |
| Índice de Figuras .....                                                                                            | <i>ix</i>   |
| Índice de Tabelas .....                                                                                            | <i>xi</i>   |
| Siglas e Abreviaturas .....                                                                                        | <i>xiii</i> |
| <b>1.Introdução .....</b>                                                                                          | <b>1</b>    |
| 1.1. Enquadramento e Relevância do Tema .....                                                                      | 1           |
| 1.2. Objetivos da Dissertação .....                                                                                | 2           |
| 1.3. Estrutura da Dissertação .....                                                                                | 3           |
| <b>2. Problemática Mundial da Água .....</b>                                                                       | <b>5</b>    |
| 2.1. Economia Circular .....                                                                                       | 7           |
| 2.2. Água Residual .....                                                                                           | 9           |
| 2.2.1. Enquadramento Legal da Água Residual Tratada para Reutilização .....                                        | 11          |
| 2.2.2. Riscos e Benefícios da Reutilização da Água Residual Tratada .....                                          | 14          |
| 2.2.3. Reutilização de Água Residual Tratada a nível Mundial .....                                                 | 17          |
| 2.2.4. Principais Usos da Água Residual Tratada .....                                                              | 19          |
| 2.2.5. Efeitos da Salinidade .....                                                                                 | 21          |
| <b>3. Tratamento e Reutilização de Águas Residuais Tratadas .....</b>                                              | <b>33</b>   |
| 3.1. Pré-Tratamento .....                                                                                          | 33          |
| 3.2. Tratamento Primário .....                                                                                     | 34          |
| 3.3. Tratamento Secundário .....                                                                                   | 34          |
| 3.4. Tratamento Terciário .....                                                                                    | 34          |
| 3.5. Intrusão Salina nos Sistemas de Saneamento .....                                                              | 35          |
| <b>4. Caso de Estudo .....</b>                                                                                     | <b>37</b>   |
| 4.1. ETAR de Barreiro/Moita .....                                                                                  | 37          |
| 4.1.1. Monitorização em Contínuo da Salinidade da Estação de Tratamento de Águas Residuais de Barreiro/Moita ..... | 38          |
| 4.2. ETAR de Fernão Ferro .....                                                                                    | 39          |

|                                                                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>5. Materiais e Métodos .....</b>                                                                              | <b>41</b> |
| 5.1. Espécies Estudadas .....                                                                                    | 41        |
| 5.1.1. Plantas Aromáticas .....                                                                                  | 41        |
| 5.1.2. Culturas Hortícolas .....                                                                                 | 42        |
| 5.2. Águas Residuais Tratadas para Reutilização .....                                                            | 43        |
| 5.3. Caracterização da Água .....                                                                                | 44        |
| 5.3.1. Salinidade na Água .....                                                                                  | 44        |
| 5.3.2. SAR .....                                                                                                 | 45        |
| 5.3.3. pH .....                                                                                                  | 46        |
| 5.4. Caracterização dos Solos .....                                                                              | 46        |
| 5.4.1. Granulometria .....                                                                                       | 47        |
| 5.4.2. pH .....                                                                                                  | 47        |
| 5.4.3. Salinidade nos Solos .....                                                                                | 48        |
| 5.4.4. Percentagem de Água e Matéria Orgânica .....                                                              | 49        |
| 5.4.5. Retenção de Água .....                                                                                    | 50        |
| 5.5. Caracterização das Espécies Plantadas .....                                                                 | 50        |
| 5.5.1. Salinidade nas Plantas .....                                                                              | 51        |
| 5.5.2. Percentagem de Água nas Plantas .....                                                                     | 51        |
| 5.5.3. Clorofila .....                                                                                           | 52        |
| 5.6. Avaliação da Germinação .....                                                                               | 54        |
| 5.7. Cultivo das Espécies em Ambiente Controlado - Estufa .....                                                  | 55        |
| 5.7.1. Espécies Plantadas .....                                                                                  | 57        |
| 5.7.2. Substratos utilizados para cultivo das plantas .....                                                      | 58        |
| 5.7.3. Procedimento Experimental .....                                                                           | 58        |
| <b>6. Resultados e Discussão .....</b>                                                                           | <b>61</b> |
| 6.1. Monitorização em Contínuo da Salinidade da Estação de Tratamento de Águas Residuais de Barreiro/Moita ..... | 61        |
| 6.2. Cultivo das Espécies em Ambiente Controlado – Estufa .....                                                  | 62        |
| 6.3. Caracterização das Águas Residuais Tratadas para Reutilização .....                                         | 62        |
| 6.4. Caracterização dos Substratos .....                                                                         | 65        |

|                                                  |           |
|--------------------------------------------------|-----------|
| 6.5. Caracterização das Espécies Plantadas ..... | 70        |
| 6.6. Avaliação da Germinação .....               | 75        |
| <b>7. Conclusões .....</b>                       | <b>77</b> |
| <b>8. Referências Bibliográficas .....</b>       | <b>79</b> |
| <b>9. Anexos .....</b>                           | <b>87</b> |

## Índice de Figuras

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1</b> – Princípio da Eliminação na Economia Circular em relação à reutilização das águas residuais tratadas. .... | 8  |
| <b>Figura 2</b> – Estratégias de resistência salina em halófitas (A) Tolerância Salina (B) Evitação Salina. ....            | 28 |
| <b>Figura 3</b> - Legenda do diagrama linear simplificado da ETAR do Barreiro/Moita. ....                                   | 38 |
| <b>Figura 4</b> - Diagrama linear simplificado da ETAR de Fernão Ferro.....                                                 | 40 |
| <b>Figura 5</b> - Relação entre a condutividade e a salinidade. ....                                                        | 45 |
| <b>Figura 6</b> - Preparação das amostras para a caracterização das espécies plantadas.....                                 | 51 |
| <b>Figura 7</b> - Determinação da clorofila a e b nas amostras de relva.....                                                | 53 |
| <b>Figura 8</b> - Sementes utilizadas para a avaliação da germinação. ....                                                  | 54 |
| <b>Figura 9</b> - Quadricula 1x1 cm utilizada na experiência. ....                                                          | 55 |
| <b>Figura 10</b> - Disposição dos vasos consoante o tipo de água a ser utilizada para irrigação na estufa.....              | 56 |
| <b>Figura 11</b> - Plantas aromáticas plantadas - Tomilho, Alecrim e Alfazema.....                                          | 57 |
| <b>Figura 12</b> – Culturas hortícolas plantadas - Alface e Couve. ....                                                     | 57 |
| <b>Figura 13</b> - Preparação da estufa. ....                                                                               | 58 |
| <b>Figura 14</b> - Timeline do estudo realizado em estufa. ....                                                             | 59 |
| <b>Figura 15</b> - Procedimento de corte de relva. ....                                                                     | 60 |
| <b>Figura 16</b> - Desenvolvimento das espécies plantadas na estufa ao longo da experiência.....                            | 62 |
| <b>Figura 17</b> - Medição da condutividade das águas lixiviadas em dois tempos.....                                        | 64 |
| <b>Figura 18</b> - Medição da condutividade nos solos - comparação entre 1 <sup>a</sup> e 3 <sup>a</sup> amostragem.....    | 67 |
| <b>Figura 19</b> - Temperatura verificada no interior da estufa.....                                                        | 67 |
| <b>Figura 20</b> - Medição do pH nos solos. ....                                                                            | 68 |
| <b>Figura 21</b> - Representação da heterogeneidade das amostras nas cápsulas.....                                          | 69 |
| <b>Figura 22</b> - Medição da granulometria nos solos dos vasos regados com água da torneira.....                           | 69 |
| <b>Figura 23</b> – Taxa de crescimento (%) da relva.....                                                                    | 71 |
| <b>Figura 24</b> - Medição da condutividade ao longo das amostragens.....                                                   | 73 |

|                                                                                                                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figura 25</b> – Teor de clorofila a (em cima) e clorofila b (em baixo) nas culturas hortícolas e relva em dois tempos.....                                                                  | 75  |
| <b>Figura 26</b> – Comparação entre a percentagem média de sementes que germinou ao fim de 3 dias e a percentagem média de radículas/plântulas que cresceram até à 2. <sup>a</sup> semana..... | 76  |
| <b>Figura A 1</b> - Boletim analítico de 29/05/2019 referente à água residual tratada fornecida pela SIMARSUL de Fernão Ferro.....                                                             | 94  |
| <b>Figura A 2</b> - Boletim analítico de 12/06/2019 referente à água residual tratada fornecida pela SIMARSUL de Fernão Ferro.....                                                             | 95  |
| <b>Figura A 3</b> - Boletim analítico de 25/06/2019 referente à água residual tratada fornecida pela SIMARSUL de Fernão Ferro.....                                                             | 96  |
| <b>Figura A 4</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com água da torneira, ao fim de 1 semana após germinação.....                                            | 97  |
| <b>Figura A 5</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ART, ao fim de 1 semana após germinação. ....                                                        | 97  |
| <b>Figura A 6</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMéd., ao fim de 1 semana após germinação.....                                                     | 98  |
| <b>Figura A 7</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMáx., ao fim de 1 semana após germinação.....                                                     | 98  |
| <b>Figura A 8</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com água da torneira, ao fim de 2 semanas após germinação.....                                           | 99  |
| <b>Figura A 9</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ART, ao fim de 2 semanas após germinação.....                                                        | 99  |
| <b>Figura A 10</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMéd., ao fim de 2 semanas após germinação.....                                                   | 100 |
| <b>Figura A 11</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMáx., ao fim de 2 semanas após germinação.....                                                   | 100 |
| <b>Figura A 12</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com água da torneira, ao fim de 3 semanas após germinação.....                                          | 101 |
| <b>Figura A 13</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ART, ao fim de 3 semanas após germinação.....                                                       | 101 |
| <b>Figura A 14</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMáx., ao fim de 3 semanas após germinação.....                                                   | 102 |
| <b>Figura A 15</b> - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMáx., ao fim de 3 semanas após germinação.....                                                   | 102 |

## Índice de Tabelas

|                                                                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela 1</b> - Principais características da água residual.....                                                                       | 10 |
| <b>Tabela 2</b> - Composição típica da água residual.....                                                                                | 10 |
| <b>Tabela 3</b> – Quantidade de nutrientes na ART para irrigação.....                                                                    | 12 |
| <b>Tabela 4</b> – Condutividade da ART para irrigação.....                                                                               | 12 |
| <b>Tabela 5</b> – Efeito combinado da condutividade elétrica e do SAR na água residual tratada para irrigação.....                       | 12 |
| <b>Tabela 6</b> - Potenciais aplicações de uso para a água residual tratada.....                                                         | 20 |
| <b>Tabela 7</b> - Classes de água para usos na agricultura através da relação do nível de salinidade e a razão de adsorção de sódio..... | 21 |
| <b>Tabela 8</b> – Estudos existentes realizados com a utilização de plantas ornamentais e aromáticas.....                                | 23 |
| <b>Tabela 9</b> - Classificação dos solos segundo o valor de pH.....                                                                     | 48 |
| <b>Tabela 10</b> - Características dos tipos de substratos utilizados.....                                                               | 58 |
| <b>Tabela 11</b> - Valores obtidos da monitorização realizada na ETAR de Barreiro/Moita.....                                             | 61 |
| <b>Tabela 12</b> - Parâmetros analisados pelo laboratório da SIMARSUL.....                                                               | 63 |
| <b>Tabela 13</b> - Medição do pH e Condutividade das águas lixiviadas em dois tempos.....                                                | 64 |
| <b>Tabela 14</b> - Medição da percentagem de água e da condutividade nos solos.....                                                      | 66 |
| <b>Tabela 15</b> - Medição do pH nos solos.....                                                                                          | 68 |
| <b>Tabela 16</b> - Crescimento da Relva.....                                                                                             | 70 |
| <b>Tabela 17</b> - Medição da percentagem de água e condutividade nas espécies de plantas plantadas.....                                 | 72 |
| <b>Tabela 18</b> – Teor de clorofila a e b nas culturas hortícolas e relva em dois tempos.....                                           | 74 |
| <b>Tabela 19</b> - Resultados da sementeira até à 2ª semana de germinação.....                                                           | 76 |
| <b>Tabela A 1</b> - Normas de qualidade de água para reutilização para rega.....                                                         | 88 |
| <b>Tabela A 2</b> - Normas de qualidade de água para reutilização para rega para proteção das culturas agrícolas, florestais e solo..... | 89 |
| <b>Tabela A 3</b> - Normas de qualidade de água para usos urbanos e paisagísticos (fora do contexto urbano).....                         | 90 |
| <b>Tabela A 4</b> - Normas de qualidade de água para reutilização em uso industrial (proteção para contacto humano).....                 | 91 |

|                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabela A 5</b> - Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais<br>(Chipre). .....           | 92 |
| <b>Tabela A 6</b> - Parâmetros de qualidade de água para reutilização da água residual tratada<br>para rega (Chipre). ..... | 92 |
| <b>Tabela A 7</b> - Tipo de uso a dar à água residual tratada consoante o seu nível de qualidade<br>(França). .....         | 93 |
| <b>Tabela A 8</b> - Normas de qualidade da água para reutilização (Itália). .....                                           | 93 |

## Siglas e Abreviaturas

|                       |                                                                        |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------|
| ApR                   | Águas para Reutilização                                                |
| AR                    | Água Residual                                                          |
| ARD                   | Águas Residuais Domésticas                                             |
| ARI                   | Águas Residuais Industriais                                            |
| ART                   | Águas Residuais Tratadas                                               |
| ARU                   | Águas Residuais Urbanas                                                |
| CBO <sub>5</sub> (20) | Carência Bioquímica de Oxigénio determinada ao fim de 5 dias e a 20° C |
| CQO                   | Carência Química de Oxigénio                                           |
| EC                    | Condutividade                                                          |
| EE                    | Estação Elevatória                                                     |
| EDCs                  | Produtos Químicos de Desregulação Endócrina                            |
| EPAL                  | Empresa Portuguesa das Águas Livres, S. A.                             |
| ETAR                  | Estação de Tratamento de Águas Residuais                               |
| NP                    | Norma Portuguesa                                                       |
| Nt                    | Azoto Total                                                            |
| OMS                   | Organização Mundial de Saúde                                           |
| Pt                    | Fósforo total                                                          |
| p. e.                 | População Equivalente                                                  |
| PCPs                  | Produtos para Cuidados Pessoais                                        |
| PhACs                 | Produtos Farmacêuticos                                                 |
| S                     | Salinidade                                                             |
| SAR                   | Relação de Adsorção de Sódio                                           |
| SDT                   | Sólidos Dissolvidos Totais                                             |
| SST                   | Sólidos Suspensos Totais                                               |
| SSV                   | Sólidos Suspensos Voláteis                                             |
| ST                    | Sólidos Totais                                                         |
| THM                   | Trihalometanos                                                         |
| U.S EPA               | Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos                       |
| UV                    | Ultravioleta                                                           |

# 1. Introdução

## 1.1. Enquadramento e Relevância do Tema

Estima-se que atualmente, a necessidade mundial de água se situe à volta dos 4 600 km<sup>3</sup>/ano, e que esta irá aumentar de 20% a 30%, chegando a um volume de 5 500 e 6 000 km<sup>3</sup>/ano até 2050 (UNESCO, 2018). Conscientes do aumento da necessidade de água e a sua escassez gradual em regiões do mundo como Ucrânia, África Central, França, Israel, entre outras, tentam adaptar-se através diferentes mecanismos para garantir as necessidades hídricas dos seus habitantes (Deza & Martínez, 2010; Monte & Albuquerque, 2010; Al-Jassim, Ansari, Harb, & Hong, 2015; Becerra-Castro et al., 2015; Jeong, Kim, & Jang, 2016; UNESCO, 2018).

Em Portugal, o setor da agricultura é aquele que mais consome água, cerca de 74,7% (Agência Portuguesa do Ambiente, 2015), embora grande parte desse valor seja proveniente de águas de boa qualidade, não são próprias para consumo humano. Haverá, no entanto, que salientar que o sistema de tratamento de água residual a nível nacional produz cerca de 629 896 421 m<sup>3</sup> anuais (ERSAR, 2019), pode constituir uma alternativa a aproveitar para novas utilizações.

A reutilização deste tipo de águas já é comum em algumas regiões do mundo, descritas anteriormente, sobretudo para a agricultura, representando o maior consumo de água, 70% da água doce mundial (Intriago et al., 2018). Em Portugal, a reutilização de água residual tratada representa uma pequena fração, cerca de 1,2%, é principalmente utilizada nas próprias infraestruturas das ETAR (88%) para usos internos como a rega dos seus espaços verdes (RASARP, 2019). Segundo Monte (2009) em Portugal as ART poderão ser aplicadas tanto na rega agrícola como na rega paisagística; em diferentes indústrias, como água de arrefecimento ou mesmo em alguns casos como água de processo; na recarga de aquíferos ou para usos recreativos.

Atualmente, algumas destas finalidades já estão a ser colocadas em prática. Por exemplo, em 2010, a loja Ikea de Loures começou a reutilizar a água residual tratada proveniente da ETAR de Frielas para o sistema de climatização (SIMTEJO, 2010). Algumas ETAR, como as da Quinta do Conde, Barreiro/Moita, Alcântara, entre outras, reutilizam as suas águas tratadas para a rega dos espaços verdes e para água de serviço nas suas infraestruturas.

Centrando o problema na rega de espaços verdes das infraestruturas de algumas ETAR do país com água residual tratada, é importante referir que este tipo de água tem as suas particularidades como, o facto de ser uma água com maiores níveis de salinidade (em relação a uma água potável ou proveniente de um rio/aquífero/barragem), maiores quantidades microbiológicas, mais rica em nutrientes e em matéria orgânica (Becerra-Castro et al., 2015), entre outras características. Apresentando-se como uma água com maior nível de salinidade, é necessário perceber o quanto e como essa salinidade poderá afetar o solo regado, as alterações que poderá desencadear e até mesmo a sua envolvência indiretamente com o tipo de planta que recebe essa água, sendo importante ter em conta o facto de a planta ser tolerável ou não à salinidade.

Todavia, algumas ETAR portuguesas sofrem de intrusão salina nos seus sistemas de drenagem e infraestruturas, por se apresentarem em cotas de soleira inferiores ao nível da água do mar (Amaro, 2016). Esta problemática poderá influenciar todo o tratamento de águas residuais em algumas ETAR e, também a sua viabilidade de reutilização, sendo apresentado em maior detalhe no ponto 3.10.

## **1.2. Objetivos e Metodologia da Dissertação**

O objetivo principal da presente dissertação é a avaliação da utilização de águas residuais tratadas com vários teores de salinidade na rega de diversas espécies vegetais (hortícolas, relva e aromáticas). Pretende-se avaliar a viabilidade da rega e os seus efeitos nas plantas e nos solos.

As espécies vegetais escolhidas foram a couve e a alface, comuns na alimentação portuguesa (uma delas que usualmente se come crua e outra cozinhada); relva comum dos jardins e três plantas aromáticas, o tomilho, a alfazema e o alecrim.

Foram efetuados dois tipos de ensaios: ensaios de rega em estufa com solos sintéticos (mistura de substrato vegetal comercial e areia) e ensaios de germinação. Nos dois tipos de ensaios as plantas foram regadas com águas residuais tratadas da ETAR de Fernão Ferro suplementadas com diferentes doses de cloreto de sódio para simular diferentes níveis de salinidade. Com esta solução mantêm-se a composição das ART, nomeadamente a matéria orgânica e os nutrientes que são importantes para o crescimento das plantas.

As culturas foram mantidas em estufa para controlar a quantidade de água de rega sem interferência da chuva.

No planeamento experimental incluíram-se quatro tipos de água:

- água potável da rede da EPAL de Lisboa (TORN, água da torneira);
- água residual tratada recolhida na ETAR de Fernão Ferro (sem intrusão salina e logo com muito baixa salinidade - ART);
- água residual tratada de salinidade média - recolhida na ETAR de Fernão Ferro à qual se adicionou cloreto de sódio até a sua condutividade atingir 2,00 mS/cm (ARTMéd)

- água residual tratada de salinidade máxima - recolhida na ETAR de Fernão Ferro à qual se adicionou cloreto de sódio até a sua condutividade atingir 4,00 mS/cm (ARTMax)

Para cada par espécie vegetal/água de rega, foram utilizados pelo menos dois vasos (duplicados).

No ensaio de rega pretende-se avaliar o efeito da salinidade nas plantas e no seu desenvolvimento através da monitorização de:

- aspetos visíveis como cor, tamanho, os sinais de debilidade/toxicidade (por exemplo manchas escuras ou perda de folhas);
- percentagem de água
- monitorização da acumulação de sais através da medida da condutividade nas espécies estudadas em três fases do ensaio (início, meio do ensaio e final);
- medida da clorofila *a* e *b* nas culturas hortícolas e na relva (método IV-Vis);
- medida da taxa de crescimento na relva;

A influência da salinidade nos solos foi monitorizado através da medida dos seguintes parâmetros:

- caracterização inicial dos solos (granulometria, teores de água e matéria seca);
- pH;
- condutividade;

Para as águas lixiviadas foi medido:

- pH;
- condutividade;

Nos ensaios de germinação foi avaliada a efeito dos diferentes níveis de salinidade nas sementes de alface e couve. Avaliou-se a taxa de germinação ao fim de 3 dias e o efeito no crescimento das plântulas ao fim de 3 semanas.

### **1.3. Estrutura da Dissertação**

Esta dissertação encontra-se estruturada do seguinte modo:

Capítulo 2 – este capítulo faz uma revisão bibliográfica, abordando a problemática mundial da água, a importância da economia circular e mais profundamente aspetos intrinsecamente ligados à água residual.

Capítulo 3 – este capítulo retrata o tratamento e reutilização de águas residuais tratadas,  
Capítulo 4 – caracteriza as duas ETAR importantes no caso de estudo e ainda, a problemática da intrusão salina nas infraestruturas.

Capítulo 5 – neste capítulo explica-se a metodologia utilizada no presente trabalho onde se descreve todo o procedimento realizado assim como quais os materiais e métodos utilizados para a obtenção dos resultados.

Capítulo 6 – apresenta os resultados obtidos neste trabalho e a respetiva discussão dos mesmos.

Capítulo 7 – neste capítulo expõe-se as principais conclusões do presente trabalho.

## 2. Problemática Mundial da Água

A escassez de água é um dos maiores problemas a nível mundial. A utilização anual total de água sofreu um aumento de 6,3 vezes, subindo pelo menos de 600 km<sup>3</sup>/ano, no início do século XX, para mais de 3800 km<sup>3</sup>/ano, no início do século XXI. Com as alterações climáticas, mudanças na economia e aumento da população mundial, as fontes de água doce vão-se reduzindo drasticamente ao longo deste século. Consequentemente, 40 % da área total do planeta Terra é classificada como árida, semiárida e seca sub-húmida (Farhadkhani et al., 2018). Estima-se ainda que, mais de 40% da população mundial enfrentará stress ou escassez hídrica nos próximos 50 anos (Becerra-Castro et al., 2015).

Devido ao desequilíbrio entre o consumo e a disponibilidade de recursos hídricos em escalas temporais e geográficas, o stress hídrico tem vindo a aumentar em várias regiões. Em 2007 a União Europeia estimava que pelo menos 11% da população europeia era afetada pela escassez de água e 17 % do território (EU, 2019). O problema é maior na zona do Mediterrâneo onde cerca de 20 % vive constantemente sob constante stress hídrico, e 50 % nos meses de verão (EEA, 2016). É estimado que até 2030, o stress hídrico e a escassez de água afetem metade das bacias hidrográficas europeias (EC 2012). Portugal este ano esteve em situação de seca meteorológica, sendo que cerca de 36% estava nas classes de seca severa e extrema (IPMA, 2019).

Na Europa, 36% do uso anual total de água deve-se à agricultura e 32% ao abastecimento público de água, sendo que a agricultura aumenta para 60% durante o verão (CE, 2016). Com base num estudo realizado pela CE (2017) sobre caracterização da reutilização de ART, constata-se que mais de metade da água utilizada na agricultura é proveniente da captação de água subterrânea em países como a Áustria, Dinamarca, Hungria, Alemanha, Holanda e Eslováquia. Constata-se ainda que, mais de 40% das explorações agrícolas na Itália, Grécia, Eslovénia e Chipre utiliza água de rega proveniente de redes de abastecimento de água não agrícola. Os motivos principais para a reutilização de água na União Europeia podem ser resumidos da seguinte maneira:

- a) Segundo a Organização Mundial de Saúde, é necessário apenas 50 a 100 litro/(habitante.dia) (L/(hab.d)) de água para assegurar que as necessidades mais básicas sejam atendidas (UN, 2015). Atualmente, em Portugal o consumo de água é de 192 L/(hab.d) (ERSAR, 2019);
- b) O consumo doméstico de água na Europa é um dos mais elevados do mundo (capitação média de 144 L/(hab.d) (AEA, 2018);

- c) Comparada a outras origens alternativas, como a dessalinização, a transferência de água ou a construção de novas barragens, a reutilização da água pode implicar menores custos de investimento e energia, podendo contribuir para reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019);
- d) Há uma crescente consciencialização do fluxo ambiental, tendo como definição o regime hídrico que ocorre num rio, terra húmida ou zona costeira para manter os ecossistemas e seus benefícios, onde haja usos concorrentes de água e onde os fluxos sejam regulados (Unión Mundial para la Naturaleza, 2007). Este assegura as massas hídricas mantenham a qualidade da água;
- e) Novas opções de fornecimento de água de baixo custo permanecem ainda relativamente limitadas, sendo que em muitas áreas, estas atingem um pico em relação aos limites de extração viáveis para águas superficiais e subterrâneas (Paranychianakis et al., 2015);
- f) Pode permitir-se a viabilização e a expansão de alguns projetos fortemente dependentes de disponibilidades hídricas, minimizar os efeitos das secas e escassez (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019);
- g) Pode contribuir para melhorar o estado do ambiente tanto quantitativamente, diminuindo os volumes de água captados, como qualitativamente, diminuindo a carga rejeitada, nomeadamente em zonas sensíveis (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019);
- h) A regulamentação cada vez mais rigorosa para a descarga de efluentes em águas superficiais (Paranychianakis et al., 2015);
- i) Mudanças na filosofia de tratamento de águas residuais que serão impostas pela necessidade de diminuir os custos de tratamento irão promover a reutilização local e, por sua vez, irão contribuir para o manuseamento sustentável de água e esgoto (Paranychianakis et al., 2015).

Na Ásia Central e em África, países mais populosos e menos desenvolvidos, está a verificar-se níveis de salinidade elevadíssimos, onde a salinização dos solos afeta até 50% das áreas irrigadas (Kumar, Wani, Suprasanna, & Tran, 2018). Na região do Médio Oriente e Norte de África, a disponibilidade de água doce atingiu um nível drasticamente baixo de 1 500 m<sup>3</sup> per capita por ano de água renovável, em comparação com uma média de 7 000 m<sup>3</sup> per capita por ano noutras partes do mundo, uma quantia que deverá cair abaixo de 700 m<sup>3</sup> per capita por ano até 2025. Resultante da escassez de água nesta região, os agricultores periurbanos utilizam recursos alternativos, como águas residuais não tratadas, para a rega de culturas hortícolas. Consequentemente desta rega, em alguns países como, Gana, Turquia, México, e Marrocos, têm sofrido contaminação microbiológica nos vegetais regados com águas residuais não tratadas, causando um perigo para a saúde pública (Abdoulkader et al., 2015). Esta problemática é recorrente, sendo que a maioria das regiões destes países em desenvolvimento não têm a capacidade de suportar os altos preços de energia e custos operacionais necessários para

sistemas avançados e especializados de tratamento de águas residuais. Contudo, em muitas redes, o consumo doméstico é o maior, correspondendo a 50 a 80% do consumo total de água (Shakir, Zahraw, Hameed, & Al-Obaidy, 2017).

Sendo o setor da agricultura responsável pelo consumo de 70% da água doce mundial, algumas regiões do mundo como, Espanha, Itália, Ucrânia, África Central, Estados Árabes, França, Grécia, Tunísia, Argentina, México, Estados Unidos da América, Chipre, Malta, Jordânia, China, Austrália, Israel, Coreia do Sul, Arábia Saudita, entre outras, têm vindo a alterar os seus estilos de agricultura, de modo a combater a escassez hídrica (Deza & Martínez, 2010; Monte & Albuquerque, 2010; Al-Jassim et al., 2015; Becerra-Castro et al., 2015; Jeong, Kim, & Jang, 2016; UNESCO, 2018). Estes países têm vindo a apostar na reutilização de águas residuais tratadas para a rega na agricultura, sendo que alguns já têm regulamentadas legislação para este tipo de reutilização (discriminados no ponto 3.2.1.2). Apesar de alguns países ainda não possuírem regulamentação sobre a reutilização de água residual tratada, a reutilização de águas residuais tratadas para a rega é realizada frequentemente de forma incorreta, com riscos para a saúde pública e ambiente, a Organização Mundial de Saúde (OMS) têm vindo a estabelecer algumas recomendações com o objetivo de guiar estes países (Monte & Albuquerque, 2010).

Segundo Jeong et al. (2016) mais de 10% da população mundial já consome produtos agrícolas regados com água residual tratada. A água residual tratada destinada para agricultura poderá ser classificada em dois métodos: reutilização direta de água residual tratada ou reutilização indireta de água residual tratada. O primeiro método, reutilização direta de água residual tratada, refere-se à utilização de água de rega fornecida diretamente a partir das ETAR. Enquanto que, no segundo método, reutilização indireta de água residual, refere-se à utilização de efluentes de ETAR ou água residual não tratada recolhida a jusante. A utilização de água residual tratada sob a forma diluída, poderá mitigar alguns efeitos colaterais como, acumulação de substâncias prejudiciais para o crescimento das culturas, alterações químicas e físicas do solo e contaminação microbiana. Contudo, a rega com ART pode prejudicar o valor comercial e a segurança alimentar (Jeong et al., 2016).

Segundo CE (2016) prevê-se que, até 2030, a reutilização de água represente 1,66% (26 km<sup>3</sup> por ano) do uso total de água. Sendo que, 36% da água reutilizada seja para rega agrícola, 20% para rega paisagística, 19% para usos industriais e, 2% para a recarga de águas subterrâneas.

## **2.1. Economia Circular**

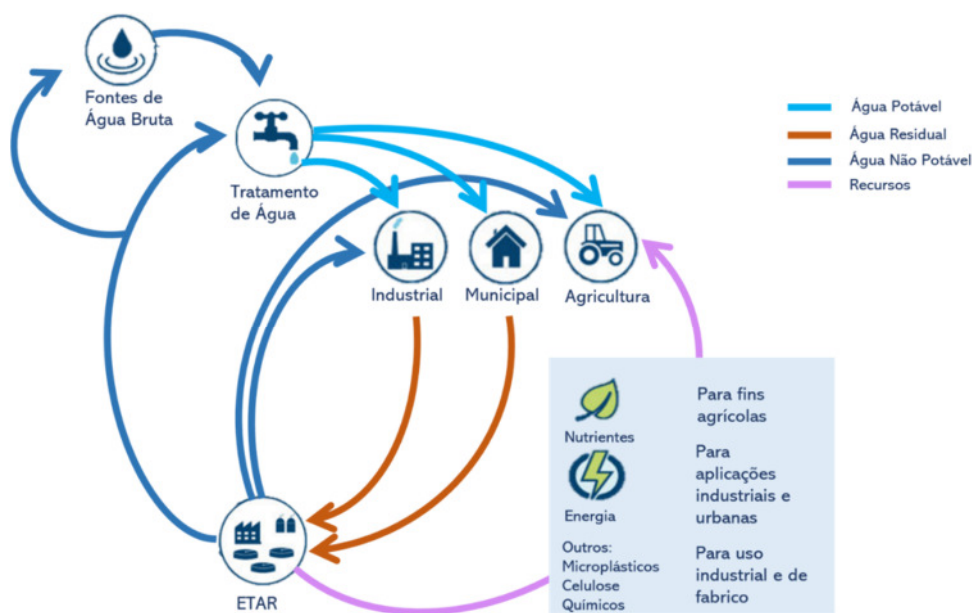
A economia circular é um modelo de produção e de consumo sustentável, é uma economia que promove o uso eficiente dos recursos através do seu uso sustentável. A economia circular assentes na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia. O que significa que quando um produto chega ao fim de vida os “seus materiais” serão novamente

utilizados criando assim um novo valor, ou um novo ciclo de vida, substitui-se o conceito de fim-de-vida da economia linear, por um fluxo circular.

A aplicação do conceito circular da economia é um elemento chave para promover a dissociação entre o crescimento económico e o aumento no consumo de recursos, relação até aqui vista como intransigente (Eco.nomia, 2019).

Existem 5 princípios básicos – pilares para a economia circular. Estes focam-se na preservação e valorização do capital natural e na minimização de desperdícios, garantindo o “fecho do ciclo” em toda a cadeia de valor desde do estágio de Conceção/design, Produção, Distribuição, Utilização e Eliminação (ou melhor, reentrada no ciclo).

A reutilização das águas residuais tratadas assenta no princípio da Eliminação na economia circular - *dinamização de redes de retoma, reuso, remanufactura ou reciclagem. Foco no upcycling (reutilização criativa - processo de reconversão de resíduos em novos materiais ou produtos de maior valor acrescentado) ou no downcycling (processo de reconversão de resíduos em novos materiais ou produtos de menor qualidade/funcionalidade reduzida* (Eco.nomia, 2019), visto que o objetivo central não é a descarga dos efluentes tratados nos cursos hídricos (fim típico do ciclo) mas sim, a sua reutilização dentro do próprio sistema ambiental (movimento looping no sistema). Este tipo de água apresenta grande potencial de utilização e que devem ser aproveitada até não ser possível a aplicação deste princípio, como é possível observar na Figura 1.



(Adaptado: Water Reuse Europe Review 2018)

**Figura 1** – Princípio da Eliminação na Economia Circular em relação à reutilização das águas residuais tratadas.

Em 2017 foi publicado em Diário da República a Resolução do Conselho de Ministros n.º 190-A/2017 que aprova o Plano de Ação para a economia circular em Portugal. O presente plano apresenta 3 níveis de ações a serem introduzidas e trabalhadas durante os próximos três anos: ações de cariz transversal, nacionais, que consolidam algumas das ações de várias áreas governativas para esta transição; agendas setoriais, sobretudo para setores mais intensivos no uso de recursos e de cariz exportador; e agendas regionais, que devem ser adaptadas às especificidades socioeconómicas de cada região (ADCOESÃO, 2019).

## 2.2. Água Residual

De acordo com o Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de junho, as Águas Residuais (AR) podem ser definidas como:

- i. *Águas Residuais Domésticas (ARD) – as águas residuais de serviços e de instalações residenciais, essencialmente provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas;*
- ii. *Águas Residuais Industriais (ARI) – as águas residuais provenientes de qualquer atividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas nem sejam águas pluviais;*
- iii. *Águas Residuais Urbanas (ARU) – as águas residuais domésticas ou a mistura destas águas residuais industriais e ou com águas pluviais (Decreto-Lei n.º 152/97).*

A composição das ARU depende da sua origem (doméstica, comercial, industrial) de uma determinada comunidade, sendo influenciada pelo clima e por o tipo de sistema de drenagem ser unitário ou separativo (Monte et al, 2016). Segundo o Decreto-Lei n.º 152/97, um Sistema de Drenagem de Águas Residuais Urbanas ou Sistema de Drenagem define-se como “*uma rede fixa de coletores que, com as demais componentes de transporte e de elevação, fazem afluir as águas residuais urbanas para um ponto de descarga*”. De acordo com o Decreto Regulamentar n.º 23/95 de 23 de agosto, os sistemas de drenagem de ARU são classificados em:

- i. Separativos – “*constituídos por duas redes de coletores distintas, uma destinada às águas residuais domésticas e águas residuais industriais e outra à drenagem das águas pluviais ou similares*”;
- ii. Unitários – “*constituídos por uma única rede de coletores, na qual são admitidas conjuntamente as águas residuais domésticas, as águas residuais industriais e as pluviais*”;
- iii. Separativos parciais ou pseudo-separativos – “*em que se admite, em condições excecionais, a ligação de águas pluviais de pátios interiores ao coletor de águas residuais domésticas*”.

A água residual é caracterizada quantitativamente e qualitativamente. Quantitativamente, varia com base em alguns fatores como: os hábitos estabelecidos da população, que causam variações de curto prazo (horária, diária e semanal) e a sua localização geográfica; as condições sazonais, que determinam a infiltração de águas freáticas na rede de coletores ou a exfiltração das AR, provocando usualmente variações de curto prazo; e as atividades industriais, que produzem variações de curto e longo prazo (Monte et al., 2016). Qualitativamente, a água residual é determinada pelas suas características. As principais características estão representadas na Tabela 1 as características da água residual podem variar consoante o nível de desenvolvimento da comunidade e da respetiva localização geográfica, e também com a fração da componente de água residual industrial.

**Tabela 1** - Principais características da água residual

| <b>Características Químicas</b>                                           | <b>Características Físicas</b> | <b>Características Biológicas</b>           |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|
| pH                                                                        | Cor                            | Microrganismos específicos                  |
| Alcalinidade                                                              | Cheiro                         | (bactérias, protozoários, vírus, helmintas) |
| Cloretos–                                                                 | Temperatura                    |                                             |
| Matéria orgânica - CQO, CBO <sub>5</sub> (20)                             | Condutividade Elétrica         |                                             |
| Nutrientes – azoto e compostos azotados; fosforo e compostos fosforados   | Massa volúmica                 |                                             |
| Enxofre e compostos sulfurados                                            | Turvação                       |                                             |
| Gases dissolvidos, ex. O <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> | Sólidos                        |                                             |
| Metais, ex. Fe, Al, ...                                                   | Capacidade de adsorção         |                                             |
| Compostos orgânicos perigosos                                             |                                |                                             |

(Adaptado de Metcalf & Eddy, 2014 e Monte et al, 2006)

A composição típica da água residual é apresentada na Tabela 2 e varia conforme os hábitos de consumo de água da comunidade.

**Tabela 2** - Composição típica da água residual.

| <b>Parâmetro</b>  | <b>Unidades</b> | <b>Gama</b>                        |
|-------------------|-----------------|------------------------------------|
| ST                | mg/L            | 537 - 1 612                        |
| SDT               | mg/L            | 374 - 1 121                        |
| SST               | mg/L            | 130- 389                           |
| SSV               | mg/L            | 101 - 304                          |
| CBO <sub>5</sub>  | mg/L            | 133 - 400                          |
| CQO               | mg/L            | 339 - 1 016                        |
| Nt                | mg/L            | 24- 69                             |
| Pt                | mg/L            | 3,7 - 11,0                         |
| Cloretos          | mg/L            | 39 - 118                           |
| Sulfatos          | mg/L            | 24- 72                             |
| Óleos e Gorduras  | mg/L            | 51 - 153                           |
| Coliformes Totais | Nº/100mL        | 10 <sup>6</sup> - 10 <sup>10</sup> |
| Coliformes Fecais | Nº/100mL        | 10 <sup>3</sup> - 10 <sup>8</sup>  |

(Adaptado de Metcalf & Eddy, 2014)

## 2.2.1. Enquadramento Legal da Água Residual Tratada para Reutilização

### 2.2.1.1. Mundialmente

As primeiras diretrizes foram propostas pelo Estado da Califórnia e pela OMS em 1918 e 1973, respetivamente (Paranychianakis et al., 2015). A diretriz do Estado da Califórnia é mais rigorosa, seguindo uma abordagem de “risco zero” adotando a “melhor tecnologia disponível”. Esta abordagem é baseada no facto de que um microrganismo patogénico pode sobreviver por dias, semanas e por vezes meses no solo e em plantações, como tal, a sua deteção em qualquer um desses ambientes é suficiente para indicar a existência de um problema de saúde pública (Bixio et al 2008). Esta diretriz propõe o tratamento biológico convencional em combinação com tratamento terciário, filtração e desinfecção com cloro (Lavrnić, Zapater-Pereyra, & Mancini, 2017). Esta filosofia de risco zero foi seguida nas regulamentações de diversos países como Chipre, Itália e Israel (Bixio et al, 2008).

Contudo, a OMS, apoiada por um grupo de especialistas, reconheceu que o padrão adotado pelo Estado da Califórnia é extremamente rigoroso e que, não era justificado pelas evidências epidemiológicas disponíveis e que era improvável que muitos países, sobretudo os países em desenvolvimento, conseguissem atender a esse padrão rigoroso. Assim sendo, a diretriz proposta pela OMS é mais flexível e foi estabelecida para ser aplicável em países em desenvolvimento com menores possibilidades económicas. Esta diretriz segue uma abordagem de “risco calculado”, baseando-se em evidências epidemiológicas existentes. A OMS, assim como as diretrizes australianas, recomendaram a implementação de um plano de gestão de riscos, que inclui uma avaliação de risco para sistemas de reutilização de água. Para este fim, a OMS publicou um Manual de Planeamento de Segurança e Saneamento (SSP) como orientação sobre a implementação das diretrizes da OMS para a reutilização de água (Licciardello et al., 2018). Esta diretriz sugere a utilização de lagoas de estabilização para tratamento das águas residuais e aplica o conceito de *fit for purpose* (adequado ao uso) – adequar a água residual tratada ao fim que se destina (Lavrnić et al., 2017).

Vários estudos mostram que para além das diferentes abordagens seguidas nos regulamentos para a reutilização de água por diferentes países, os parâmetros regulamentados e os valores também são diferentes (Norton-Brandão, Scherrenberg, & Van Lier, 2013; Becerra-Castro et al., 2015; CE, 2016; Jeong et al., 2016; Lyu, Chen, Zhang, Fan, & Jiao, 2016; Lavrnić et al., 2017).

Os parâmetros avaliados mais comuns são: pH, SST, CBO, Coliformes Fecais e E. coli. Surpreendentemente, em relação aos parâmetros indicativos da salinidade, a condutividade elétrica e relação de adsorção de sódio – SAR, são poucos os países/organizações que apresentam valores para ambos os parâmetros.

A organização internacional de Normalização, ISO (International Organization for Standardization) propôs em 2015, na norma ISO 16075-1:2015, uma serie diretrizes para a reutilização de ART na irrigação. Na Norma ISO 16075-1:2015 a qualidade da ART a ser reutilizada para irrigação deve ter em conta os seguintes aspetos/parâmetros:

- Quantidade de nutrientes – azoto, fósforo e potássio (Tabela 3);
- Avaliação da salinidade – teor de sais através da medição da condutividade; concentração de cloretos, boro e sódio; e o SAR (Tabela 4 e 5);
- Outros parâmetros químicos como os metais pesados;
- Parâmetros microbiológicos.

A norma ISO propões ainda que seja avaliado o solo onde está a ser aplicada a ART.

**Tabela 3** – Quantidade de nutrientes na ART para irrigação

| Parâmetro                    | Unidade | Média mensal | Valor máximo |
|------------------------------|---------|--------------|--------------|
| NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> | mg/L N  | 20           | 30           |
| Nt                           | mg/L N  | 25           | 35           |
| Pt                           | mg/L P  | 5            | 7            |

(Fonte: ISO16075-1:201)

**Tabela 4** – Condutividade da ART para irrigação

| Tolerância da cultura    | Condutividade elétrica máxima na água de irrigação (dS/m) |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Muito baixa              | 0,5                                                       |
| Baixa                    | 1,0                                                       |
| Moderadamente tolerante  | 2,0                                                       |
| Tolerância elevada       | 4,0                                                       |
| Tolerância muito elevada | 8,0                                                       |

(Fonte: ISO16075-1:201)

**Tabela 5** – Efeito combinado da condutividade elétrica e do SAR na água residual tratada para irrigação

| Problemas na irrigação   | Potencial problema de irrigação                     |                 |        |
|--------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------|--------|
|                          | Nenhum                                              | Leve a moderado | Severo |
| SAR (mEq/L) <sup>2</sup> | Condutividade elétrica da ART para irrigação (dS/m) |                 |        |
| 0 a 3                    | > 0,7                                               | 0,2 a 0,7       | < 0,2  |
| 3 a 6                    | >1,2                                                | 0,3 a 1,2       | <0,3   |
| 6 a 12                   | >1,9                                                | 0,5 a 1,9       | <0,5   |
| 12 a 20                  | >2,9                                                | 1,3 a 2,9       | <1,3   |
| 20 a 40                  | >5,0                                                | 2,9 a 5,0       | <2,9   |

(Fonte: ISO16075-1:201)

A União Europeia não tem uma legislação comum, no entanto em 2013 criou um grupo de trabalho com o objetivo de maximizar a reutilização de água e iniciar o desenvolvimento de critérios comuns para toda a EU baseados nos princípios ambientais e nas políticas da EU (Paranychianakis et al., 2015). Até agora não existe nenhuma política comum na EU, mas vários países, como o Chipre, Itália França, Espanha, Grécia e recentemente Portugal já adotaram normas que são vinculativas (EC, 2017).

No Chipre, a regulamentação para a reciclagem de água apresenta requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais (Tabela A 5 em Anexo) e inclui parâmetros de qualidade da água para a reutilização da água residual tratada para rega, como demonstrado na Tabela A 6 (em Anexo), proibindo a rega de vegetais que serão consumidos crus, cultivos para exportação e plantas ornamentais (CE, 2016).

Em França, a legislação aplicada divide a água residual tratada em 4 categorias de acordo com a sua qualidade e apresenta vários tipos de usos consoante a qualidade da água, representados na Tabela A 7, em Anexo (CE, 2016).

Em Itália, tal como em França, também existem 4 categorias de água para reutilização, consoante o seu nível de qualidade, Na Tabela A 8 (em Anexo). Apresenta-se os parâmetros estabelecidos com os seus valores máximos permitidos.

#### 2.2.1.2. Em Portugal

A qualidade da água residual tratada reutilizada para rega deve ser adequada ao fim pretendido – *fit for purpose*, sem que se coloque em causa a proteção da saúde e do ambiente. Como tal, deverão ser realizadas análises de risco para a identificação de potenciais perigos, recetores, cenários de exposição e caracterização e gestão do risco, para a saúde ou ambiente, associado de um dado sistema ou situação, visando encontrar o cenário com o mais baixo valor de risco possível (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019). Segundo o Anexo I, do Decreto-Lei n.º 119/2019, de 21 de agosto, referente à produção de água para reutilização, obtida a partir do tratamento de águas residuais, bem como da sua utilização apresenta normas de qualidade de água para reutilização para rega (Tabela A 1 em Anexo), normas de qualidade de água para reutilização para rega para proteção das culturas agrícolas, florestais e solo (Tabela A 2 em anexo), sendo estas mais abrangentes e deixando ao critério do tipo de rega (consoante o tipo de planta entre outras características) que as normas (mais restritas) referidas no Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de agosto, que se referem à rega com todo o tipo de águas (Decreto-Lei n.º 119/2019) (Decreto-Lei n.º 236/98).

Referente ainda ao mesmo Anexo, este apresenta também normas de qualidade de água para usos urbanos e paisagísticos (fora do contexto urbano) (Tabela A 3 em Anexo) e ainda,

normas de qualidade de água para reutilização em uso industrial (proteção para contacto humano) (Tabela A 4 em Anexo).

### 2.2.2. Riscos e Benefícios da Reutilização da Água Residual Tratada

A aplicação de águas residuais tratadas para rega de plantas e culturas está gradualmente a tornar-se uma prática comum em todo o mundo. É benéfico por uma série de razões: (a) a escassez de água pode ser resolvida; (b) grandes quantidades de águas residuais podem ser eliminadas durante todo o ano; (c) recursos de alta qualidade poderiam ser usados para usos potáveis; (d) benefícios económicos, atribuídos principalmente ao conteúdo de nutrientes mais elevados das águas residuais. Além disso, a distribuição de águas residuais tratadas pelos municípios para rega em grandes áreas de terreno causa um risco mínimo de contaminação (Lubello, Gori, Nicese, & Ferrini, 2004) sendo preferível aos transvases ou dessalinização (implicam construção de estruturas, investimento económico, podem gerar perdas por evaporação e pelo próprio sistema (Quist-Jensen, Macedonio, & Drioli, 2015)), contribuindo para a economia circular. A aplicação de águas residuais tratadas para rega tem diversos riscos, tais como, riscos ambientais:

- Ao contrário das águas residuais não tratadas, as águas residuais tratadas contêm menos substâncias poluentes e microrganismos, mas que podem representar um risco para o meio ambiente (exposição a agentes patogénicos e outras substâncias por meio de pulverização durante a rega e contacto direto com a água, por exemplo). Isto deve-se ao facto de estas serem sujeitas a tratamento secundário de modo a reduzir a presença destas substâncias e microrganismos. Em casos mais particulares, poderá haver a necessidade de tratamento adicional, tratamento terciário para a remoção de poluentes específicos;
- A qualidade da água recetora deverá ser alvo de consideração relativamente a alguns fatores como a, profundidade do lençol freático e da zona destinada para recarga de aquíferos, bem como a drenagem do solo (para rega) de modo a ser possível controlar os riscos da reutilização da água – *fit for purpose*;
- A água reutilizada desinfetada com cloro, poderá apresentar um efeito potencial negativo numa possível reutilização, para recarregamento de aquíferos por exemplo, sendo que o cloro poderá formar com a matéria orgânica compostos nocivos para o Homem e para o meio ambiente (por exemplo, os trihalometanos e os ácidos haloacéticos) que poderá implicar a descarga de resíduos do tratamento com cloro no meio ambiente, podendo assim prejudicar os sistemas aquáticos (CE, 2016), daí a extrema importância do ponto anterior;
- A água residual tratada, por ser uma água com maiores níveis de salinidade poderá ter implicações no solo e no crescimento das plantas que serão regadas com essa água. Os

efeitos poderão ser positivos, com o aumento da clorofila por exemplo e, também menos positivos, sendo que algumas plantas são menos tolerantes à salinidade. Como tal, para uma reutilização de água residual tratada é importante ter em consideração o propósito da sua aplicação e conseqüentemente, utilizar esta água (com diferentes níveis de qualidade) para diferentes condições.

Riscos para a saúde humana:

- As águas residuais não tratadas, ou águas residuais tratadas, mas em que as ETAR não estão preparadas para esse efeito (ETAR com desinfecção como tratamento terciário) contêm substâncias poluentes e microrganismos que podem representar um risco para a saúde humana como por exemplo de contaminação com microrganismos com genes com resistência a antibióticos e contaminação de produtos químicos (CE, 2016). Como a população de microrganismos patogénicos apresenta amplas variações e composições sazonais e espaciais em águas residuais não tratadas, os processos de tratamento realizados e a sua eficácia e confiabilidade irão determinar a presença dos mesmos na água tratada e, conseqüentemente, o nível de risco de saúde derivado da sua reutilização, sendo esta uma das principais preocupações na implementação da reutilização deste tipo de água (Paranychianakis et al., 2015);
- A exposição de seres humanos a produtos químicos de desregulação endócrina (EDCs), produtos para cuidados pessoais (PCPs) e produtos farmacêuticos (PhACs), drogas ilegais e subprodutos de desinfecção, pode ocorrer por meio da absorção e acumulação em tecidos comestíveis de culturas e da reutilização potável (indireta) de água residual tratada (Paranychianakis et al., 2015);
- Apesar do tratamento e gestão adequada da água residual tratada possa levar a um fornecimento água segura para reutilização, é importante entender e avaliar o risco para garantir a segurança da população (CE, 2016);

Riscos económicos:

- A reutilização de água é vista como uma opção dispendiosa, com baixos retornos sobre o investimento, em comparação à captação de massas de água (CE, 2016);
- Os custos associados às infraestruturas para um esquema de reutilização, incluindo obras de tratamento, sistemas de distribuição de água e sistemas de rega podem necessitar de um plano de financiamento e a viabilidade económica destes projetos dependerá da situação em específico (Angelakis & Snyder, 2015).

E riscos sociais:

- Em alguns países, a perceção pública da água residual tratada continua a ser negativa e poderá haver desconfiança nas práticas desta reutilização. Segundo Garcia-Cuerva, Berglund, & Binder (2016), a “repugnância fisiológica” e o “fator *yuck*” – definidos

como o desconforto emocional gerado pelo contacto próximo com certos estímulos desagradáveis – contribui para a oposição de programas de reutilização de água (CE, 2016);

- Em algumas cidades, a água potável reutilizada é renomeada para mitigar o estigma comunitário de beber esgoto reciclado, como o “*NEWater*” em Singapura (Furlong, De Silva, Gan, Guthrie, & Considine, 2017).

Apesar dos riscos, existem também benefícios, sendo os benefícios ambientais:

- A reutilização da água residual tratada pode aumentar o fluxo natural e artificial em riachos e lagoas, ajudando a manter as massas de água superficiais e também, recarregar aquíferos, ajudando assim a manter um bom estado quantitativo e evitar a deterioração do estado das águas subterrâneas, assegurando, se for possível a não alteração do seu estado químico. A restauração de rios, lagoas e pântanos através da reutilização desta água tem sido eficaz em alguns casos, levando ao renascimento de ecossistemas aquáticos (Angelakis & Snyder, 2015). Esta reutilização poderá ser benéfica em termos de prevenção de descargas secundárias de efluentes nos meios recetores. Contudo, é importante considerar se essas descargas estavam ou não a contribuir para a manutenção dos fluxos de massas de água para evitar impactes negativos inesperados no meio ambiente;
- A reutilização de água ajudará a diminuir a carga rejeitada proveniente de ETAR em zonas sensíveis;
- ETAR em zonas costeiras, incluindo em regiões com escassez de água, descarregam frequentemente os seus efluentes tratados para os rios e mares, levando ao desperdício dos recursos de água doce. A reutilização dessa água significa que esta encontra-se preservada para um determinado propósito, permitindo uma melhor resiliência às mudanças de necessidades de consumo, quer pela população envolvente, quer devido ao clima;
- Em áreas com escassez de água, a reutilização de água fornece uma fonte alternativa, aumentando assim a disponibilidade de água e consequentemente, a estabilidade do fornecimento da mesma;
- Em países com stress hídrico, a reutilização de água poderá apresentar um impacto ambiental menor em relação a outras fontes de água alternativas, como a dessalinização;
- Em alguns casos, a reutilização de água pode reduzir a necessidade de utilização de fertilizantes artificiais, fornecendo esta nutrientes para a rega; e,
- A reutilização planeada de água poderá reduzir os riscos ao meio ambiente e à saúde humana, ao contrário da reutilização não planeada de água (CE, 2016);

Os benefícios económicos:

- A água é um recurso e como tal, evitar a perda deste recurso pode trazer benefícios económicos;
- A reutilização da água para rega irá trazer benefícios económicos, para além de ambientais como descrito anteriormente, com a diminuição da despesa em produtos/fertilizantes industriais sintéticos, visto que a própria água é abundante em nutrientes;
- A reutilização da água poderá encorajar um preço mais adequado da água, o que poderá criar incentivos para reduzir o consumo de água;
- A reutilização de água poderá ter um impacto positivo no valor da terra ou terreno, sendo que pode permitir a utilização do terreno se este se localizar em zonas de stress ou escassez hídrica;
- A possibilidade de comercializar não só de produtos regados com a água residual tratada como a própria água, deve ser objeto de análise (Santos, 2008);

E os benefícios sociais:

- O aumento das atividades económicas com a reutilização de água residual tratada levaria a benefícios sociais como, a empregabilidade. Em particular, em países muito turísticos, a reutilização desta água levaria ao desenvolvimento do turismo, nomeadamente em atividades relacionadas indiretamente com a água, como campos de golfe, parques ou hotéis;
- A reutilização da água poderá melhorar a segurança alimentar, fornecendo uma fonte alternativa para a rega, apoiando assim comunidades rurais e empresas;
- A reutilização da água poderá também encorajar uma abordagem mais integrada à gestão da água, considerando tanto a água potável como a água residual juntas (CE, 2016).

### 2.2.3. Reutilização de Água Residual Tratada

A reutilização de ART é uma realidade por todo o mundo, é uma fonte de água alternativa principalmente em áreas onde a água é escassa. A principal aplicação da água residual tratada é a rega agricultura e alguns usos industriais, no entanto existem alguns exemplos de utilização de água residual tratada para produção de água potável: em Singapura cerca de 40 % do abastecimento de água potável é efetuado pelas estações de NEWter, que tratam a água residual em água potável (SNWA, 2019); na Namíbia, na capital Windhoek uma ETAR trata a água residual de 350 000 hab, (35% da população da cidade), produz diariamente 21 000 m<sup>3</sup> de água potável, cerca de 6% da água consumida na cidade (Veolia, 2018).

Israel é o país que reutiliza mais água, cerca de 70% da água residual produzida é reciclada e utilizada para rega (IWA, 2012). Em Israel a reutilização de água representa 10% da totalidade das reservas de água do país e quase 20% da reserva de água para rega (Reznik et al., 2017).

Na Europa a escassez de água é maior nos países mediterrâneos, como já referido. É nestes países onde a utilização da ART é maior. Espanha, é o país europeu que mais reutiliza a ART, reutiliza cerca de 13% das ART sendo cerca de 71% utilizada na agricultura (Iglesias, 2010). O valor da taxa de reutilização não é uniforme, há regiões em Espanha com taxa muito mais elevadas, por exemplo a região hidrográfica do rio Segura a taxa de reutilização de ART é de 100%, seguida das ilhas Canárias, 48,3% (Monte 2012).

Em 2017 a *Water Reuse Europem* identificou 787 esquemas de reutilização sendo que 250 estão localizados no norte e 537 no Sul, 361, 99 e 44 esquemas em Espanha, Itália e Grécia respetivamente. Os esquemas de reutilização identificados são maioritariamente aplicados à irrigação agrícola e paisagística, nomeadamente campos de Golf.

#### 2.2.3.1. Portugal

Atualmente, cerca de  $1,7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/dia de águas residuais são tratadas em Portugal. Em 2018 só 30 entidades gestoras produziram ART para reutilização, só 1,2% foi reutilizada. Desta água reutilizada cerca de 88% foi reutilizada na própria ETAR, uso próprio (ERSAR, 2019). As entidades gestoras que mais reciclaram a ART em 2018 foram Águas do Tejo e Atlântico (96%), Simarsul (92%) e Simdouro (88%) (ADP, 2019).

Nas ETAR as ART são principalmente utilizadas para lavagem de pavimentos das instalações e órgãos de tratamento e para rega de espaços verdes. No exterior das ETAR a sua utilização é diversificada: lavagem de ruas e de contentores, apagar fogos e rega de espaços verdes (ADP 2019). Alguns exemplos:

- Em 2010, a loja Ikea de Loures começou a reutilizar a água residual tratada proveniente da ETAR de Frielas para o seu sistema de climatização (SIMTEJO, 2010).
- O Parque da Bela Vista teve como lugar o Projeto Piloto Rock in Rio 2018, tendo sido regada uma área de 1200 m<sup>2</sup>, por rega por aspersão, com água residual tratada proveniente da ETAR de Beirolas, ao longo de 4 semanas (Agência Portuguesa do Ambiente, 2019).
- Rega de alguns campos de Golf no Algarve e em Porto Santo. Em 2012 41% do efluente da ETAR de Porto Santo era utilizado para a rega do campo de golf (Monte 2012).

#### 2.2.4. Principais Usos da Água Residual Tratada

As águas residuais tratadas usadas como recurso hídrico não convencional são de comprovado interesse agronómico, económico e ambiental para a rega de plantas ornamentais e outras culturas, especialmente nas regiões do Mediterrâneo onde a disponibilidade deste recurso hídrico é um fator limitante, para aplicações industriais, usos urbanos e para propósitos ambientais – restauração e manutenção de fluxo (Paranychianakis et al., 2015).

A utilização deste tipo de água para rega em projetos paisagísticos e para revegetação com a utilização de plantas ornamentais, terá um impacto muito menor em relação à utilização deste tipo de água para rega de culturas para consumo (Acosta-Motos, Hernández, Álvarez, Barba-Espín, & Sánchez-Blanco, 2017).

Este tipo de água também poderá ser reutilizado para a agricultura e aquicultura, sendo fonte de nutrientes essenciais para os peixes e para as plantas (maiores quantidades de azoto e fósforo, o que minimiza o uso de fertilizantes). Poderá ser uma fonte confiável em áreas com altos níveis de aridez e propensas a um aumento de seca induzida pelas mudanças climáticas (Alderson, dos Santos, & Mota Filho, 2015).

Contudo, independentemente do uso a dar, é importante estabelecer-se o método de rega. Este método deve minimizar o contacto da água com as partes comestíveis das plantas, reduzir ao máximo o risco de escoamento superficial e o transporte de aerossóis e gotas por ação do vento. Assim sendo, os métodos mais são a rega por gravidade, subterrânea e por gota-a-gota (Santos, 2008).

Em Portugal existem algumas potenciais aplicações, descritas por Santos (2008) na Tabela 6 que poderão ser extrapoladas para outros países. Santos (2008) apresenta ainda uma classificação destinada para o tipo de culturas a serem regadas com ART de acordo com o nível de risco de contaminação microbiológica:

- Classe A – culturas hortícolas para consumo em cru;
- Classe B – relvados, parques e jardins públicos e relvados para a prática de desportos, zonas florestadas com fácil acesso para o público;
- Classe C – culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras e pratenses, vinha e pomares;
- Classe D – culturas cerealíferas (excluindo o arroz por ser regado por alagamento), culturas hortícolas para laboração industrial, culturas destinadas à produção de matérias-primas para as indústrias têxtil, de extração de óleos, essências vegetais e similares, culturas florestais e relvados situados em locais de difícil acesso para o público ou com acesso controlado.

**Tabela 6** - Potenciais aplicações de uso para a água residual tratada.

| <b>Tipologia</b> | <b>Aplicações</b>                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Uso Urbano       | Rega de parques, espaços verdes e combate a incêndios urbanos e florestais<br>Sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de pavimentos e fontes decorativas<br>Construção civil, controlo de poeiras, desobstrução de redes de drenagem |
| Uso Agrícola     | Rega de campos agrícolas com culturas forrageiras, gramíneas, hortícolas, viveiros de plantas ornamentais/decorativas                                                                                                                                  |
| Uso Industrial   | Refrigeração, alimentação de caldeiras, águas de processamento                                                                                                                                                                                         |

(Fonte: Santos, 2008)

#### 2.2.4.1. Viveiros

A reutilização de água residual tratada para rega de viveiros representa uma fonte alternativa interessante de água e pode ser uma maneira de economizar água, de diminuir a poluição das águas superficiais e de recarregar as fontes de água subterrânea. Estima-se que sejam necessários 100-350 kg de água para produzir 1 kg de matéria seca vegetal, embora possa variar com espécies, sistemas de cultivo e estação de crescimento (García-Caparrós & Lao, 2018). A produção de viveiros de vasos de plantas lenhosas é provavelmente uma das práticas agrícolas com maior consumo de água por unidade de área e isso explica as crescentes pressões que os produtores de viveiros estão a enfrentar para evitarem o uso de água de alta qualidade para rega (Lubello et al., 2004). O aumento da população e a produção agrícola, juntamente com a diminuição das fontes de água doce, continuam a intensificar, a cada dia que passa, cada vez mais a competição por água potável (García-Caparrós & Lao, 2018).

A reutilização de água residual tratada para produção de plantas ornamentais tem algumas peculiaridades em comparação com a mesma prática noutros campos agrícolas. Em primeiro lugar, esta produção é uma atividade de alto valor agregado e envolve a possibilidade de margens económicas mais altas para aumentar a qualidade da água residual tratada. Simultaneamente, o alto valor das plantas requer que o efeito da rega com água residual tratada tenha de ser cuidadosamente monitorizado. Em segundo lugar, esta produção requer maior quantidade de nutrientes e permite um aumento da reciclagem de nutrientes, especialmente no caso do azoto em comparação com outros tipos de culturas (Lubello et al., 2004). Contudo, o stress salino poderá, entre outros, reduzir o crescimento das plantas, provocar desequilíbrios nutricionais, mudanças nas relações hídricas e fotossíntese, stress oxidativo que reduz a qualidade visual das plantas ornamentais e conseqüentemente a sua venda. Estes danos causados pela salinidade podem ser mitigados através de manuseamento eficiente da rega, aplicação

exógena de nutrientes e osmólitos<sup>1</sup>, sombreamento e enriquecimento de CO<sub>2</sub>, melhorando também o valor ornamental e a lucratividade destas espécies (García-Caparrós & Lao, 2018).

#### 2.2.4.2. Agricultura e Aquicultura

Segundo Alderson et al. (2015), no estudo realizado foi possível concluir que estações de tratamento de águas residuais de baixo custo e escala são capazes de fornecer um efluente adequado para a reutilização de águas residuais para agricultura e aquicultura aplicando um padrão de confiabilidade de 80% com o sistema Lagoas de Estabilização. A confiabilidade de 80% usada representa uma meta mais pertinente para comunidades com escassez de água em regiões em desenvolvimento que podem ser ainda mais afetadas pelos impactos da mudança climática e que usam essas tecnologias de tratamento de águas residuais domésticas de baixo custo. Este contexto, a maioria dos sistemas de tratamento poderá ser usada com sucesso para a reutilização de águas residuais na agricultura e aquicultura, com altas taxas de conformidade (Alderson et al., 2015).

Através da relação do nível de salinidade pode ser avaliado pela condutividade elétrica e pela razão de adsorção de sódio (SAR), na Tabela 7 apresenta-se diferentes classes de água para usos na agricultura.

**Tabela 7** - Classes de água para usos na agricultura através da relação do nível de salinidade e a razão de adsorção de sódio.

| Nível de Salinidade                                                                                                                      |                      | Razão de Adsorção de Sódio (SAR)                                                                                                                                 |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Classe de Água                                                                                                                           | Condutividade (dS/m) | Classe de Água                                                                                                                                                   | SAR   |
| C1 – Salinidade Baixa (pode ser usada em segurança)                                                                                      | 0-0,25               | S1 – Risco de Sódio Baixo (pouco ou nenhum risco)                                                                                                                | 0-10  |
| C2 – Salinidade Média (pode ser usada em culturas que são moderadamente tolerantes à salinidade)                                         | 0,25-0,75            | S2 – Risco de Sódio Médio (risco considerável, mas pode ser usado com lixiviação apropriada, disponibilidade de gesso e capacidade de troca de catiões)          | 10-18 |
| C3 – Salinidade Alta (pode ser usada em culturas que sejam significativamente tolerantes à salinidade ou em solos com drenagem adequada) | 0,75-2,25            | S3 – Risco de Sódio Elevado (insatisfatório na maioria das culturas, mas pode ser usado com alta lixiviação, boa drenagem e alta capacidade de troca de catiões) | 18-26 |
| C4 – Salinidade Muito Alta (não pode ser usada em rega de culturas comuns)                                                               | 2,25-5,00            | S4 – Risco de Sódio Muito Elevado (inapropriada para rega)                                                                                                       | >26   |

(Adaptado de Wilcox, 1955)

#### 2.2.5. Efeitos da Salinidade

A tolerância salina nas plantas é variável dependendo do uso pretendido e do valor da planta. Para culturas agrícolas e hortícolas, a maior preocupação é a obtenção de rendimento e qualidade económica sob condições salinas. Para paisagistas, a principal preocupação centra-se

<sup>1</sup> pequenas moléculas orgânicas que foram selecionadas para contrabalançar stresses ambientais em organismos vivos.

na capacidade de a planta manter uma qualidade estética sem crescimento excessivo (Grieve, Grattan, & Maas, 2012). O efeito da salinidade na rega de algumas plantas já foi amplamente estudado, no entanto existem poucos estudos efetuados com ART reais. Na Tabela 8 apresentam-se alguns dos estudos realizados.

**Tabela 8** – Estudos existentes realizados com a utilização de plantas ornamentais e aromáticas.

| <b>Planta</b>                                                    | <b>Tipo de água</b>                                                                        | <b>Objetivo / resultados</b>                                                                                                                                       | <b>Referência</b>             |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <u>Salsa</u><br><i>Petroselinum crispum</i>                      | Solução sintética com micro nutrientes                                                     | Valor ótimo para crescimento e produção de espécies reativas de oxigénio (radical oxygen species) com EC 1,2 dS/m                                                  | Álvaro et al. (2016)          |
| <u>Tomilho</u><br><i>Thymus vulgaris</i>                         | Solução sintética suplementada com nutrientes e dois níveis de salinidade 50 e 100 mM NaCl | Parâmetros morfológicos: massa seca, tamanho das folhas, hastes e raízes, quantidade de água<br>Produção de etileno e óleos essenciais<br>Interação com a alfazema | Bueno et al. (2014)           |
| <u>Tomilho -limão</u><br><i>Thymus citriodorus</i>               | -                                                                                          | Resposta dos parâmetros morfológicos e fisiológicos ao stress hídrico                                                                                              | Tátraí et al. (2016)          |
| <u>Alfazema</u><br><i>Lavandula angustifolia</i>                 | Solução sintética suplementada com nutrientes e dois níveis de salinidade 50 e 100 mM NaCl | Parâmetros morfológicos: massa seca, tamanho das folhas, hastes e raízes, quantidade de água<br>Produção de etileno e óleos essenciais<br>Interação com o tomilho  | Bueno et al. (2014)           |
|                                                                  | 0; 25; 50; 100mM NaCl                                                                      | Parâmetros morfológicos e fisiológicos extração de óleos                                                                                                           | Chrysargyris et al. (2018)    |
| <u>Alfazema-de-folha-recortada</u><br><i>Lavandula multifida</i> | Solução sintética com 10, 30, 60, 100, 200 mM NaCl                                         | Análise de vários parâmetros morfológicos fisiológicos de resposta da planta à salinidade                                                                          | García-Caparrós et al. (2017) |
| <u>Cidreira</u><br><i>Melissa officinalis L.</i>                 | -                                                                                          | Efeito da salinidade e stress hídrico no crescimento e produção de óleos essenciais                                                                                | Ozturk et al. (2004)          |
|                                                                  | Solução sintética com 0, 50, 100, 150 mM NaCl                                              | Efeito do crescimento e produção de óleos                                                                                                                          | Amini et al. (2016)           |
| <u>Lúcia -lima</u><br><i>Aloysia triphylla</i>                   | Água<br>Mistura de água e ART<br>ART                                                       | Influência da qualidade da água e stress hídrico no crescimento e produção de óleos                                                                                | Al-Mefleh et al. (2012)       |

**Tabela 8** - Estudos existentes realizados com a utilização de plantas ornamentais e aromáticas (continuação).

| Planta                                             | Tipo de água                                                                                           | Objetivo / resultados                                                                                                                                             | Referência                 |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| <u>Alecrim</u><br><i>Rosmarinus officinalis L.</i> | Solução sintética com macro e micro nutrientes e diferentes conc. de NaCl - 0, 50, 100, 150 mM         | Stress oxidativo devido à presença de diferentes sais                                                                                                             | Tounekti et al. (2011)     |
|                                                    | Solução sintética com macro e micro nutrientes e diferentes conc. de NaCl                              | Influência da qualidade da água e stress hídrico no crescimento e produção de óleos                                                                               | Morales et al. (2015)      |
|                                                    | Solução sintética com 0, 50, 100, 150 mM NaCl; com utilização de fertilizantes                         | Parâmetros morfológicos: raízes e hastes, produção de clorofila a e b; produção de carotenoides; quantidade de N, P e K nas raízes e produção de óleos essenciais | Helaly et al. (2018)       |
|                                                    | Solução sintética com 0, 50, 100, 150 mM NaCl                                                          | Matéria seca, % de água; pigmentos fotossintéticos e óleos                                                                                                        | Kiarostami et al. (2010)   |
| <u>Rosmaninho</u><br><i>Lavandula stoechas</i>     | Solução sintética com 0, 75, 150 mM NaCl e níveis diferentes de ZnSO <sub>4</sub> - 0, 1000, 2000 mg/L | Parâmetros morfológicos: raízes e hastes e folhas; matéria seca, % de água; pigmentos fotossintéticos e óleos                                                     | Mehrabani et al. (2017)    |
| <u>Murta</u><br><i>Myrtus communis L.</i>          | Duas ART e uma só com salinidade                                                                       | Vários parâmetros e comparação com outro tipo de plantas                                                                                                          | Acosta-Motos et al. (2016) |
|                                                    | Três ART e uma só com salinidade                                                                       | Vários parâmetros e comparação com outro tipo de plantas ao longo do tempo                                                                                        | Acosta-Motos et al. (2014) |
|                                                    | Solução sintética com 0, 44, 88 mM NaCl                                                                | -                                                                                                                                                                 | Acosta-Motos et al. (2015) |
| Vários arbustos                                    | Solução sintética com 0, 10, 40, 70 mM NaCl                                                            | Efeito da salinidade                                                                                                                                              | Cassaniti et al. (2009)    |

**Tabela 8** - Estudos existentes realizados com a utilização de plantas ornamentais e aromáticas (continuação).

| <b>Planta</b>                                                         | <b>Tipo de água</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>Objetivo / resultados</b>                                                                                                                                                               | <b>Referência</b>             |
|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Várias plantas                                                        | Solução sintética com 0, 20, 40, 60, 80 mM NaCl                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Efeito da salinidade                                                                                                                                                                       | Villarino & Mattson (2011)    |
| Várias plantas ornamentais                                            | -                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | Efeito da salinidade, na acumulação de nutrientes, no crescimento das folhas, na produção de pigmentos, produção de pigmentos fotossintéticos e produção de anti oxidantes- <b>revisão</b> | García-Caparrós & Lao (2018)  |
| Três plantas ornamentais                                              | Solução sintética composta por: 0,70 H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , 6,00 NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , 2,00 SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , 3,00 K <sup>+</sup> , 2,00 Ca <sup>2+</sup> e 1,40 Mg <sup>2+</sup> com diferentes concentrações de NaCl: T1 ou controlo - 3 mmol L <sup>-1</sup> NaCl T2 - 30 mmol L <sup>-1</sup> NaCl T3 - 60 mmol L <sup>-1</sup> NaCl | Efeito da salinidade, na acumulação de nutrientes, no crescimento das folhas, na produção de pigmentos, produção de pigmentos fotossintéticos e produção de anti oxidantes                 | García-Caparrós et al. (2016) |
| Várias plantas entre as quais <i>Lavandula angustifolia</i>           | Solução sintética com 0,8; 3,2; 6,4 e 12 dS/m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Efeito da salinidade – diferentes sais e diferentes condutividades 0,8; 3,2; 6,4 e 12 dS/m – efeito nos parâmetros morfológicos e fisiológicos                                             | Niu & Rodriguez (2006)        |
| Várias plantas herbáceas entre as quais <i>Lavandula angustifolia</i> | Solução sintética de uma mistura 2:1 de CaCl <sub>2</sub> e NaCl a 1000, 3000 ou 5000 mg.L <sup>-1</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                               | Efeito da salinidade - 2 CaCl <sub>2</sub> : 1 NaCl (razão molar) - com níveis de salinidade de 1000, 3000 e 5000 mg/L                                                                     | Zollinger et al. (2007)       |

### 2.2.5.1. No Solo

Os solos são considerados salinos quando apresentam níveis de salinidade de 4 dS.m<sup>-1</sup> ou maior, o que poderá ser mais problemático se o aumento de salinidade resultar da existência NaCl no solo (García-Caparrós & Lao, 2018).

A salinidade no solo pode implicar perda de fertilidade e aumento da suscetibilidade à erosão, contaminação de lençóis freáticos e das reservas hídricas subterrâneas (Dias & Blanco, 2010).

Os solos afetados pelo sal podem ser agrupados em solos salinos, solos sódicos e solos salinos-sódicos. Quase 40% dos solos afetados por este fator no mundo são salgados e 60% são solos sódicos. Os solos salinos apresentam grande conteúdo de sais solúveis, os solos sódicos apresentam maiores teores de íões sódio e os solos salinos-sódicos apresentam excesso de sais e de sódio trocável (Nouri et al., 2017).

O **solo sódico**, com excesso de sódio trocável, afeta quase todas as culturas devido à deterioração das condições físicas do solo. O excesso de sódio pode separar e expandir as partículas de argila, que por sua vez, poderá causar inchaço e dispersão do solo (Grieve et al., 2012; Nouri et al., 2017). Com a dispersão de agregados do solo, este apresenta problemas de permeabilidade (diminuição da permeabilidade), o solo que fica disperso irá impedir a circulação de água e ar no solo (Nouri et al., 2017) e qualquer excesso de água irá promover o encharcamento na superfície do solo, impedindo a germinação de sementes e o crescimento de plantas, por falta de oxigénio – redução da difusão total de oxigénio (Dias & Blanco, 2010; Grieve et al., 2012). Solos mal estruturados também resultam em ambientes saturados prolongados, estimulando o aparecimento de doenças nas raízes. Apesar da salinidade no solo não causar especificamente doença nas plantas, estas quando apresentam stress salino podem estar predispostas a infeções por patogénicos no solo. Plantas com stress salino em solo húmido pode contribuir para o aumento da suscetibilidade a doenças fúngicas, podendo ser agravado pela drenagem inadequada da água no solo (Grieve et al., 2012). A concentração elevada de níveis de sódio tende, também a produzir crostas superficiais. Quando o solo seca, as partículas de argila dispersas formam uma camada superficial dura, que limita ainda mais o movimento da água no solo. No entanto, íões salinos como o cálcio e o magnésio ajudam na floculação do solo, portanto, a sua concentração no solo diminui o processo de dispersão do solo, ao contrário dos sais de sódio (Nouri et al., 2017).

O **solo salino-sódico** tem várias propriedades similares às do solo sódico, como o excesso de sódio e estrutura impermeável, como tal, estes dois tipos de solos são geralmente agrupados e tratados usando a mesma tecnologia (Nouri et al., 2017).

A presença de sal no solo auxilia o processo de floculação, que consequentemente melhora as propriedades físicas do solo, tais como estabilização e agregação via aeração do solo e

desenvolvimento radicular, contudo, o alto nível de salinidade pode ter efeitos adversos na fertilidade do solo (Nouri et al., 2017). A salinidade no solo poderá afetar a aquisição de nutrientes da planta no solo, reduzindo severamente o crescimento das raízes. O *stress* salino pode predominar na zona radicular inferior da planta, enquanto o *stress* hídrico pode predominar na zona da raiz superior (Grieve et al., 2012).

Com mudanças controladas na salinidade do solo, culturas com diferentes tolerâncias à salinidade podem ser incluídas dentro de uma rotação de culturas. Com o controlo adequado, esta rotação de culturas permite aos agricultores com acesso a diferentes qualidades de água regar alternadamente (ciclicamente) em anos diferentes ou em diferentes épocas do ano, de modo a manterem as suas culturas e o solo rentável (Grieve et al., 2012). Num artigo e revisão de Nouri et al. (2017) são referidas várias espécies, como a *Atriplex halimus*, *Atriplex patula*, *Chenopodium rubrum* L, *Borago officinalis*, entre outras, que poderão ser utilizadas para controlar a salinidade do solo é uma abordagem muito promissora devido às abordagens modernas baseadas na engenharia. Esta pode ser recomendada como uma intervenção eficiente, barata e ambientalmente sustentável em muitas áreas do mundo onde a salinização dos solos é um problema (Nouri et al., 2017).

#### 2.2.5.2. Nas Plantas

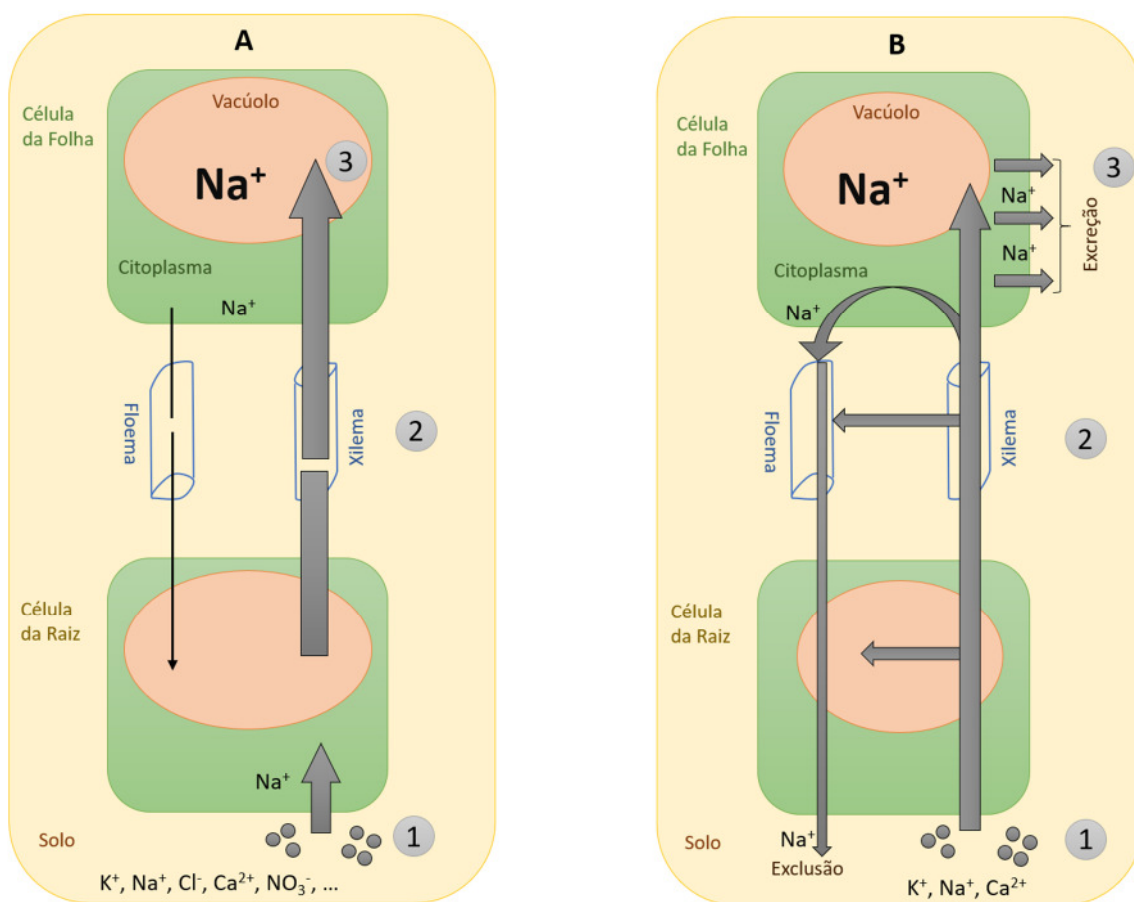
A salinidade pode provocar desequilíbrios nutricionais nas plantas, mais concretamente, na disponibilidade de nutrientes, na absorção e/ou distribuição de um nutriente dentro da planta, e/ou aumentando a necessidade interna da planta por um elemento resultante da inativação fisiológica (Grieve et al., 2012). O crescimento das plantas é afetado pela salinidade como resultado da inativação de processos fisiológicos tais como, perturbação na fotossíntese, perturbação na osmorregulação, regulação negativa do crescimento aéreo após um sinal de longa distância e, perturbação no fornecimento de sais minerais para a parte aérea (García-Caparrós & Lao, 2018).

O aumento da pressão osmótica, através da presença de excesso de sais no solo, poderá atingir um nível de modo a que não seja possível as plantas absorverem água por não terem poder suficiente de sucção para superar essa pressão osmótica. Dependendo do grau de salinidade, a planta em vez de absorver água no solo, poderá até perder a que se encontra no seu interior. A essa ação dá-se o nome de plasmólise, ocorrendo quando uma solução altamente concentrada é posta em contacto com a célula vegetal, sendo que a água irá passar das células para a solução mais concentrada (Dias & Blanco, 2010).

A salinidade do solo diminui a disponibilidade de água no mesmo, contudo, nem todas as plantas são afetadas do mesmo modo pela salinidade. As plantas podem ser classificadas de duas formas, consoante a sua tolerância à salinidade. As glicófitas são plantas que na sua maioria são pouco tolerantes à ação dos sais (Dias & Blanco, 2010; García-Caparrós & Lao,

2018). As halófitas são plantas que se adaptam à salinidade, ou seja, ajustam-se, sobrevivem e crescem em meio altamente salino (em ambiente salino de 20 dS/m) (Dias & Blanco, 2010; Grieve et al., 2012). Estas podem manifestar-se com três tipos de restrições: (1) restrição osmótica, em que estas aumentam a concentração salina no seu interior, de modo a que permaneça um gradiente osmótico favorável para a absorção de água pelas raízes – ajuste osmótico, (2) Stress iónico associado à acumulação de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nos tecidos (acumulação tóxica) e, (3) stress nutricional resultante da competição de  $\text{Na}^+$  com outros catiões essenciais como,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  com  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  (Kumar et al., 2018).

As duas principais estratégias adotadas pelas halófitas (Figura 2) dependem se estas são dicotiledóneas ou monocotiledóneas. As dicotiledóneas adotam uma estratégia de regulação osmótica e as monocotiledóneas adotam uma estratégia de evitação. Estas estratégias não são mutuamente exclusivas, sendo que uma determinada planta pode usar várias estratégias diferentes, dependendo de circunstâncias específicas (Kumar et al., 2018).



(Adaptado: Kumar, Wani, Suprasanna, & Tran, 2018)

**Figura 2** – Estratégias de resistência salina em halófitas (A) Tolerância Salina (B) Evitação Salina.

Esta estratégia de tolerância salina adotada pelas halófitas é baseada na alta capacidade de absorver e transportar  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  das raízes até às partes aéreas antes da sua acumulação nos vacúolos. Esta acumulação de sal pode ser benéfica para estas plantas em comparação com as glicófitas, uma vez que pode levar a uma diminuição do potencial hídrico das células, o que poderia aumentar a supressão de água e reduzir a transpiração. Na maioria das halófitas dicotiledóneas, o comportamento “inclusivo” é eficaz visto que está associado a altas taxas de crescimento e retenção de grandes quantidades de iões inorgânicos no vacúolo. A grande maioria das halófitas utilizam  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  para o ajuste osmótico, enquanto outras utilizam  $\text{K}^+$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ . No entanto, os níveis de acumulação variam entre espécies e condições ambientais. A acumulação de  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$  nos vacúolos aumenta também a suculência do caule ou da folha. Esta característica – suculência do caule ou das folhas – presente em numerosas halófitas, está associada a um aumento do tamanho das células, a uma diminuição da área superficial por volume de tecido e a um elevado teor de água por unidade de superfície. Uma maior suculência correlacionada com o estado da água nas folhas pode ser interpretada como uma adaptação da planta em termos de conservação da água interna e diluição dos sais acumulados (Kumar et al., 2018).

A evitação salina requer certas adaptações fisiológicas e estruturais. Existem dois tipos principais de evitação salina para halófitas: (1) exclusão pelas raízes - o  $\text{Na}^+$  é transportado no xilema, transportado para as folhas pela transpiração e, em seguida, parcialmente recirculado pelo floema até às raízes e excretado no meio e, (2) excreção – algumas halófitas são capazes de depositar altas quantidades (molares) de  $\text{NaCl}$  em estruturas externas especializadas (epidérmicas) como glândulas e bexigas salinas (Grieve et al., 2012). Segundo Kumar et al. (2018) cerca de 50% das plantas halófitas contêm bexigas salinas. Sendo o diâmetro da bexiga 10 vezes maior do que as células epidérmicas, cada célula da bexiga epidérmica tem cerca de 1000 vezes maior volume e, portanto, poderia armazenar cerca de 1000 vezes mais  $\text{Na}^+$  em comparação com os vacúolos das células foliares. O mecanismo de excreção nas glândulas salinas pode ser descrito pelo movimento do líquido da célula basal para a célula apical através das conexões do plasmodesmo entre as duas células. Uma solução enriquecida em sal é armazenada numa câmara de acumulação entre a parede da célula apical e a cutícula que foi descascada. Esta última estende-se, trazendo a solução salina para a superfície da folha através de pequenos espaços abertos da cutícula (Kumar et al., 2018).

Sendo a compartimentação do sal nas plantas o que permite que estas sobrevivam tolerando elevados níveis de salinidade no solo, as glicófitas tendem a excluir os sais na solução do solo, incapazes de realizar o ajuste osmótico, levando a um decréscimo de turgidez, acabando por causar stress hídrico nas plantas, por osmose (Dias & Blanco, 2010).

A salinidade no solo também pode trazer efeitos tóxicos para as plantas. Devido à absorção excessiva de sais no solo, irá desencadear-se um desequilíbrio e danos no citoplasma, resultando

em danos sobretudo nas bordas e no ápice das folhas. Os sinais de toxicidade podem revelar-se em qualquer cultura de plantas, se as concentrações de sais no interior forem suficientemente altas ou acima dos níveis de tolerância da planta. Geralmente, a toxicidade é provocada pelos íons cloreto, sódio e boro, contudo, mesmo em pequenas concentrações muitos oligoelementos são tóxicos para as plantas (Dias & Blanco, 2010; García-Caparrós & Lao, 2018).

O cloreto contribui para o stress osmótico da planta e irá acumular-se na mesma através da transpiração nas folhas. O primeiro sinal detetado pela sua toxicidade é a presença de queimaduras nos ápices das folhas que, em estados mais avançados atinge as bordas e provoca a queda prematura das folhas. Muitas espécies lenhosas são sensíveis à presença de cloreto (Grieve et al., 2012; García-Caparrós & Lao, 2018).

Contrariamente ao cloreto, em que os sinais de toxicidade se apresentam por queimaduras nos ápices das folhas, os sinais típicos de toxicidade por sódio aparecem em forma de queimaduras ou necrose, ao longo das bordas das folhas. Estes sinais aparecem inicialmente em folhas mais velhas e nas suas bordas e gradualmente a necrose vai espalhar-se na área internerval, até ao centro das folhas (Dias & Blanco, 2010; Grieve et al., 2012; García-Caparrós & Lao, 2018). Estes efeitos diretos são geralmente limitados a espécies lenhosas. Os efeitos indiretos incluem desequilíbrio nutricional e comprometimento das condições físicas do solo (Grieve et al., 2012).

Sendo a absorção de sódio pelas plantas fortemente regulada pela presença de cálcio na solução, a presença de cálcio é essencial para evitar a acumulação de sódio para níveis tóxicos – algo particularmente importante em culturas lenhosas sensíveis ao sódio (Grieve et al., 2012).

Segundo Grieve, Grattan, & Maas (2012) muitas espécies lenhosas perenes são suscetíveis à lesão foliar causada pela acumulação tóxica de cloreto e sódio nas folhas. Com o aumento do tempo de exposição aos sais, a tolerância salina poderá diminuir devido aos níveis tóxicos progressivos da acumulação de sais nas folhas ou tecidos lenhosos (Grieve et al., 2012).

Os problemas de toxicidade por boro têm como sinais a existência de manchas amarelas ou secas nas bordas e no ápice das folhas velhas. À medida que o boro se acumula nas plantas, estes sinais estendem-se pelas áreas internervais até ao centro das folhas (Dias & Blanco, 2010; Grieve et al., 2012; García-Caparrós & Lao, 2018). Outros sintomas de toxicidade por boro são observados em plantas paisagísticas, que incluem morte terminal por ramos, manchas foliares necróticas, forma e texturas anormais das folhas e rachas na casca. A necrose causada pelo boro é frequentemente preta, embora às vezes também seja vermelha e, é mais severa em folhagem mais velha (Grieve et al., 2012). Segundo Brown & Shelp (1997), o boro pode ser transferido por algumas espécies, contrariamente ao que se pensava em que na maioria das plantas o boro permanecesse imóvel. As plantas capazes de transferir o boro têm altas concentrações de polióis (álcoois de açúcar) que se ligam ao boro e permitem que este seja transferido na parte aérea (Grieve et al., 2012).

A salinidade diminui o valor de mercado de muitos legumes, como cenoura, pepino, aipo, batata, couve e alface, entre outros, indiretamente, através da diminuição do tamanho e/ou qualidade das frutas, tubérculos ou outros órgãos comestíveis. As culturas hortícolas são suscetíveis a distúrbios relacionados com cálcio, sobretudo em ambientes salinos. A necessidade de cálcio aumenta à medida que aumenta a concentração salina na zona da raiz da planta. Ao mesmo tempo, a absorção de cálcio do substrato poderá ser enfraquecida devido a interações com iões, precipitação e aumento a força iónica. Contudo, nem todos os efeitos da salinidade são negativos. A salinidade pode conferir efeitos benéficos nas culturas, sendo vantajoso economicamente. Esta pode aumentar o rendimento em cultivos que têm uma forte competitividade por fotossintatos (produto da fotossíntese) entre estruturas vegetativas e reprodutivas. Em algumas culturas, o stress salino poderá retardar o crescimento das partes vegetativas, permitindo fluir o excesso de fotossintatos para os órgãos reprodutivos das plantas (Grieve et al., 2012).

Muitas plantas conseguem adaptar-se ao stress salino aumentando a biossíntese de metabolitos secundários como, sólidos solúveis, açúcares, ácidos orgânicos, proteínas e aminoácidos. Estes podem agir como osmólitos ou osmorreguladores para manter o turgor da planta, sendo que a presença destes metabolitos aumenta muito a qualidade nutritiva e a comercialização de frutas e vegetais (Grieve et al., 2012).

A salinidade pode provocar também stress oxidativo e induzir a produção de espécies reativas de oxigénio, que são prejudiciais para todas as classes de biomoléculas. A biossíntese de oxidantes é a principal resposta defensiva da planta ao stress oxidativo, tendo como resultado o aumento de concentrações de antioxidantes, como flavonoides, ascorbato, tocoferóis, carotenoides e licopeno nas plantas (Grieve et al., 2012).

Para as plantas ornamentais, a exposição a condições salinas pode envolver não apenas uma diminuição do peso das plantas, mas como também uma diminuição na altura das mesmas. Esta redução de altura poderá ser benéfica para os produtores de viveiros, sendo necessário menos espaço para o cultivo, maior facilidade em manuseamento, menores custos de transporte e vantagens para os retalhistas. A exposição de plantas ornamentais a condições salinas influencia também o crescimento da área foliar, ou seja, o tamanho das folhas. A redução da área foliar permite minimizar a perda de água por via de transpiração. Deste modo, é possível produzir plantas compactas sem a utilização de reguladores de crescimento de plantas. Contudo, a utilização de água salina ainda não foi adotada como uma técnica para controlo do tamanho das plantas (García-Caparrós & Lao, 2018).

Os padrões de qualidade das plantas para o uso paisagístico são muito menos rigorosos do que para a floricultura. Contudo, o stress salino poderá afetar benéficamente a qualidade e resistência a doenças das plantas. Se a estética das plantas não for comprometida, as plantas com stress salino para uso paisagístico crescerão mais lentamente, o que exigirá menor

aparagem e manutenção (utilização benéfica em campos de golfe, por exemplo) (Grieve et al., 2012).

#### 2.2.5.3. Métodos de Rega

O método de rega poderá afetar a resposta das culturas à salinidade, influenciando a distribuição de sal no solo, e permitindo determinar se as folhas serão submetidas a umedecimento e a facilidade com que altos potenciais de água no solo podem ser alcançados (Grieve et al., 2012).

A rega por sprinkler poderá promover a fácil absorção dos sais na água pela folha, quando esta se encontra molhada e causar lesões foliares. A água move-se na direção em que é transpirada ou evaporada, logo haverá concentração de sais nas áreas onde este fenómeno ocorre. A acumulação de sal será menor no ponto onde a água de rega entra em contacto com o solo, mas aumenta na direção do fluxo de água no solo (Grieve et al., 2012).

O grau de lesão está relacionado com a concentração salina nas folhas, contudo, as condições climáticas e o stress hídrico podem influenciar o início da lesão. Por exemplo, as folhas podem conter níveis tóxicos de sódio ou cloreto durante várias semanas sem exibir nenhum sinal de lesão, mas quando o clima muda para quente e seco causará necrose grave na folha (Grieve et al., 2012).

## 3. Tratamento e Reutilização de Águas Residuais Tratadas

Antes das águas residuais serem descarregadas no seu meio recetor, estas devem ser submetidas a tratamento nas Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) de modo a cumprirem os limites de descarga da legislação em vigor.

O tratamento da água residual na ETAR é constituído pelo tratamento da fase líquida e o tratamento da fase sólida. O enquadramento sobre uma ETAR é elaborado com base em Monte & Albuquerque (2010); Serrano (2014); Monte et al. (2016); Figueiredo (2018); e Brito, Oliveira & Peixoto (2014).

### 3.1. Pré-Tratamento

O pré-tratamento é uma etapa determinante na ETAR, sendo a primeira etapa de tratamento quando o afluente chega à ETAR na sua composição bruta. Esta etapa tem como objetivo a proteção e durabilidade aos equipamentos e infraestruturas a jusante desta, designadamente bombas, válvulas, tubagens, arejadores, entre outros.

Nesta etapa existe uma grande libertação de odores que são produzidos ao longo da rede de drenagem, sendo o sulfureto de hidrogénio ( $H_2S$ ) um dos principais contribuintes para o odor. Como tal, esta etapa geralmente encontra-se num edifício denominado de obra de entrada, com um sistema de ventilação para controlo de odores.

O pré-tratamento consiste em operações unitárias de remoção de flutuantes de grande dimensão, tais como trapos, panos, plásticos, pedaços de madeira, latas e, de sólidos em suspensão. Geralmente a primeira etapa é a gradagem grossa, com grades com espaçamento superior a 6 mm. Esta gradagem previne a entrada de detritos de grandes dimensões, como por exemplificados anteriormente. Seguidamente, o afluente passa pela gradagem fina, com grades com espaçamento inferior a 6 mm, removendo sólidos de pequena dimensão. Após a etapa de gradagem, é usual haver uma etapa de desarenação e desengorduramento. Esta etapa tem como objetivo a remoção de partículas sólidas de natureza predominantemente inorgânica, como areia, partículas metálicas, grãos de café, casca de ovo, etc. com diâmetro mínimo de 0,3 mm. Pretende-se também, proteger os equipamentos a jusante contra o desgaste por abrasão e evitar a deposição de areias em tubagens, canais, decantadores, arejadores e digestores. Esta etapa é indispensável nas ETAR de localidades à beira-mar. A desarenação pode ocorrer em tanques

com arejamento, sendo que a injeção de ar num dos lados do fundo do tanque irá provocar a ascensão e acumulação de partículas menos densas e gorduras em suspensão, sendo posteriormente removidas por raspagem. No fundo do tanque sedimentam-se as partículas mais densas, sendo posteriormente removidas por bombagem e encaminhadas para um classificador de areias. Os subprodutos do pré-tratamento são os gradados, areias e gorduras. Por norma, os gradados e as areias são encaminhadas para aterro sanitário quando não têm valorização e as gorduras para o processo de digestão anaeróbia presente na instalação.

### **3.2. Tratamento Primário**

Segundo o Decreto-Lei n.º 125/97 o tratamento primário é “*o tratamento das águas residuais urbanas por qualquer processo físico e ou químico que envolva a decantação das partículas sólidas em suspensão, ou por outro processo em que a CBO<sub>5</sub> das águas recebidas seja reduzida de, pelo menos, 20% antes da descarga e o total das partículas sólidas em suspensão das águas recebidas seja reduzido de, pelo menos, 50%*”;

### **3.3. Tratamento Secundário**

Segundo o Decreto-Lei nº 152/97 o tratamento secundário é, “*tratamento das águas residuais urbanas que envolve geralmente um tratamento biológico com decantação secundária ou outro processo que permita respeitar os valores constantes do quadro n.º 1 do anexo I*”, ou seja garantir eficiências de remoção de 70-90% de CBO<sub>5</sub>, 75% de CQO e 90% de SST. Os processos de tratamento biológico podem ser divididos em três categorias: biomassa suspensa, biomassa fixa e os dois primeiros combinados.

### **3.4. Tratamento Terciário**

O tratamento terciário é um tratamento de afinação destina-se à remoção de nutrientes (pela otimização das condições de anaerobiose e anoxia), microrganismos e poluentes orgânicos, permitindo assim uma melhoria da qualidade do efluente do tratamento biológico e, conseqüentemente, um efluente com maior qualidade para descarga no meio recetor ou uma água para reutilização. A reutilização deste efluente poderá ter vastos fins como, uso interno na própria ETAR como água de serviço, rega de espaços verdes, jardins públicos ou espaços agrícolas. A filtração, separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, osmose inversa), permuta iónica, adsorção por carvão ativado e a desinfecção são os principais processos de aplicação em tratamento terciário. A desinfecção tem por objetivo a redução da quantidade de microrganismos patogénicos, eliminando-os ou reduzindo-os de modo a não constituírem um risco para a saúde pública.

O processo de desinfecção mais usual é, a radiação UV. Quando os microrganismos estão expostos à radiação UV, esta penetra nas suas células danificando o material genético, podendo deste modo eliminar ou inativar os mesmos. A grande desvantagem deste processo deve-se à sujidade e envelhecimento das lâmpadas, requerendo assim maior manutenção. Em substituição deste, aplica-se o processo de desinfecção por hipoclorito de sódio (NaOCl).

A eficiência deste processo depende de vários fatores como, o tipo de microrganismos patogénicos que se pretende eliminar/remover (bactérias, vírus, protozoários e ovos de helmintas), as características físicas e químicas das águas residuais, o tempo de contacto da água com o agente desinfetante, a dose-concentração/intensidade do agente desinfetante, a temperatura ambiente e as características hidráulicas do escoamento das águas residuais no reator de desinfecção.

### **3.5. Intrusão Salina nos Sistemas de Saneamento**

Portugal com a sua vasta área costeira para o Oceano Atlântico pode tornar um desafio o correto funcionamento das estações de tratamento de águas residuais e dos seus subsistemas devido aos episódios de intrusão salina verificadas em algumas destas estações. Estes episódios de intrusão salina devem-se a duas situações, uma parte importante do sistema de drenagem de águas residuais se localizar em zonas costeiras com influência de marés e, de uma parte das infraestruturas estarem abaixo do nível da água do mar (Amaro, 2016).

Segundo referido por Amaro (2016) e Figueiredo (2018) , episódios de intrusão salina poderão causar alguns problemas nos sistemas de saneamento, rede de drenagem e infraestruturas da ETAR, tais como:

- Inundações devido ao aumento não previsto do caudal, e ainda, descargas de caudais não tratados;
- Problemas de corrosão nos coletores e nos órgãos da ETAR;
- O aumento da salinidade diminui a eficiência em alguns processos e operações unitárias utilizados na ETAR com a conseqüente perda de eficiência do tratamento.

A título de exemplo, apresentam-se as ETAR de Alcântara, de Barreiro/Moita e do Seixal. Estas três ETAR são algumas das infraestruturas em Portugal que sofrem de intrusão salina por se encontrarem próximo do mar/rio (mudanças de maré), nos estudos realizados em cada uma destas ETAR, por Amaro (2016), (Figueiredo, 2018) e Serrano (2014) respetivamente.

Os efeitos indesejáveis nos coletores devem-se sobretudo à entrada de água do mar no sistema, danificando e ocupando espaço necessário nas estruturas, aumentando a pressão no sistema reduzindo novamente a capacidade e causando inundações a montante e aumentando o consumo de energia e os custos para tratar os efluentes e, corrosão dos próprios coletores, equipamentos e acessórios em metal/aço (Amaro, 2016; Serrano, 2014).

Nas redes de drenagem e nas estações elevatórias das redes de drenagem, estes efeitos devem-se à infiltração de água do mar através das junções nas tubagens, entre tubagens e caixas de visita, por danos fissurais ao longo da rede, por descarregadores de tempestade e por descarregadores de superfície de estação elevatória (Figueiredo, 2018).

Relativamente ao tratamento das águas residuais, os efeitos poderão ter repercussões ao longo de todo o processo por as ETAR não se encontrarem preparadas, desde tratamento biológico e decantação secundária, inibição do processo de digestão anaeróbia, formação de precipitados no processo de digestão anaeróbia, no espessamento/desidratação de lamas (Serrano, 2014; Figueiredo, 2018).

## 4. Caso de Estudo

A SIMARSUL – Saneamento da Península de Setúbal S.A. é responsável pela gestão e exploração do sistema multimunicipal de saneamento de águas residuais da Península de Setúbal é constituído por 34 ETAR, 299 km de interceptores, 5 emissários submarinos, 130 estações elevatórias; 122 km de condutas elevatórias. Neste sistema são produzidos 30 milhões de m<sup>3</sup> de água residual tratada e uma parte é reutilizada para rega e lavagens (SIMARSUL, 2019).

Algumas partes deste vasto sistema de saneamento devido à sua localização sofre intrusão salina, nomeadamente uma parte do sistema de drenagem da ETAR de Barreiro/Moita situada junto do estuário do Tejo quando as marés são superiores a 3,10 m (Figueiredo, 2018).

Quando ocorrem estas marés a salinidade do efluente da ETAR aumenta substancialmente (Figueiredo, 2018). A salinidade pode ter um efeito nocivo nas plantas e nos solos com já referido no ponto 2.2.5. por isso a SIMARSUL pretendeu avaliar o efeito desta salinidade na rega dos seus espaços verdes.

Durante o estudo optou-se por utilizar a água residual tratada de outra ETAR da SIMARSUL que não sofre qualquer intrusão salina para garantir uma maior uniformidade na água utilizada, utilizou-se água da ETAR de Fernão Ferro.

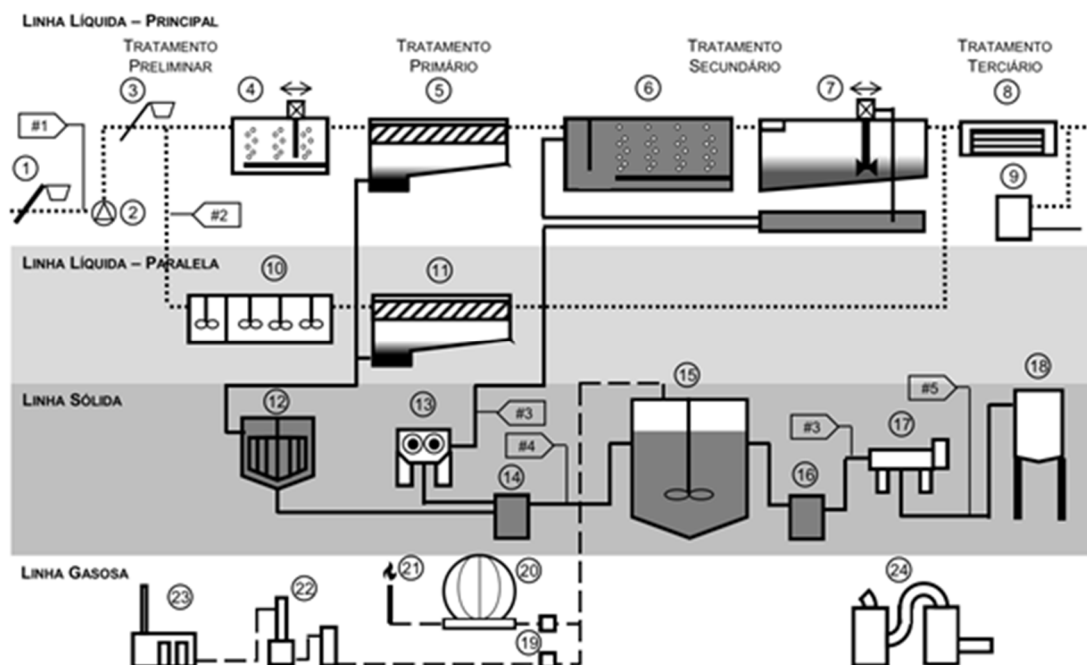
### 4.1. ETAR de Barreiro/Moita

A ETAR de Barreiro/Moita foi concebida para tratar água residual de uma população de 200 000 habitantes no ano horizonte de projeto de 2035. Esta apresenta uma capacidade máxima hidráulica de 7 800 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> em ponta horária e em termos médios 64 790 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> para tempo húmido (Figueiredo, 2018). Os parâmetros de rejeição de efluente tratado são os que se encontram dispostos no Decreto-Lei n.º 157/97, sendo a CBO<sub>5</sub> = 25 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, CQO = 125 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e SST = 35 mg SST.L<sup>-1</sup>. As suas eficiências de remoção são de 95% para SST, 97% para CBO<sub>5</sub> e 92% para CQO. A ETAR de Barreiro/Moita dispõe de uma linha paralela para tempestades e caudais de maiores afluências pluviais, sendo que esta também apresenta os mesmos parâmetros de rejeição de efluente tratado descritos anteriormente.

Em 2018, a ETAR de Barreiro/Moita tratou 18 926 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup>, sendo que a população média foi de 158 210 ha.eq.dia<sup>-1</sup>. Neste mesmo ano, em média 503 m<sup>3</sup>.dia<sup>-1</sup> (2,7%) de água residual tratada foi reutilizada nas instalações ou em outras atividades.

Assim sendo, a ETAR de Barreiro/Moita é constituída por uma linha líquida principal composta por pré-tratamento, tratamento primário, secundário e terciário com desinfecção por

radiação ultravioleta. Possui uma linha líquida secundária para dar resposta a caudais de maiores afluências pluviais em tempos de chuva, uma linha sólida para tratamento e estabilização das lamas geradas e ainda, uma linha gasosa para tratamento de odores (Figueiredo, 2018) (Figura 3).



(Fonte: Figueiredo, 2018)

**Figura 3** - Legenda do diagrama linear simplificado da ETAR do Barreiro/Moita.

#### 4.1.1. Monitorização em Contínuo da Salinidade da Estação de Tratamento de Águas Residuais de Barreiro/Moita

Para verificar o efeito de uma maré superior a 3,10 m descrito Figueiredo (2018), no dia 24 de Janeiro de 2019, foram realizados um conjunto de medição da condutividade e temperatura da água residual ao longo do percurso na estação de tratamento na Estação de Tratamento de Águas Residuais de Barreiro/Moita. Este procedimento teve como objetivo a avaliação dos níveis de condutividade e indiretamente dos níveis de salinidade em pico de maré alta (preia-mar) e maré baixa (baixa-mar). Estas medições permitiram entender a um nível muito geral o problema de intrusão salina sofrido nesta ETAR diariamente, alterando o correto e eficaz funcionamento da mesma.

Neste sentido, foram realizadas 8 medições de hora a hora (começando às 9h40 e terminando às 16h40) em 3 pontos de amostragem – decantador primário, tanques de contacto e decantador secundário.

A medição da condutividade foi realizada com a sonda VWR pHenomenal TM CO 3000 H calibrada com a solução padrão da Hach (Cat. 1440042) Sodium Chloride Standard Solution

( $491 \pm 2,5$  mg/L de NaCl       $1000 \pm 10$   $\mu$ S/cm (1  $\mu$ S/cm  $\sim$  0,5 mg/L STD)) e a recolha da amostra foi realizada através de um balde que foi enchido até meio a cada medição.

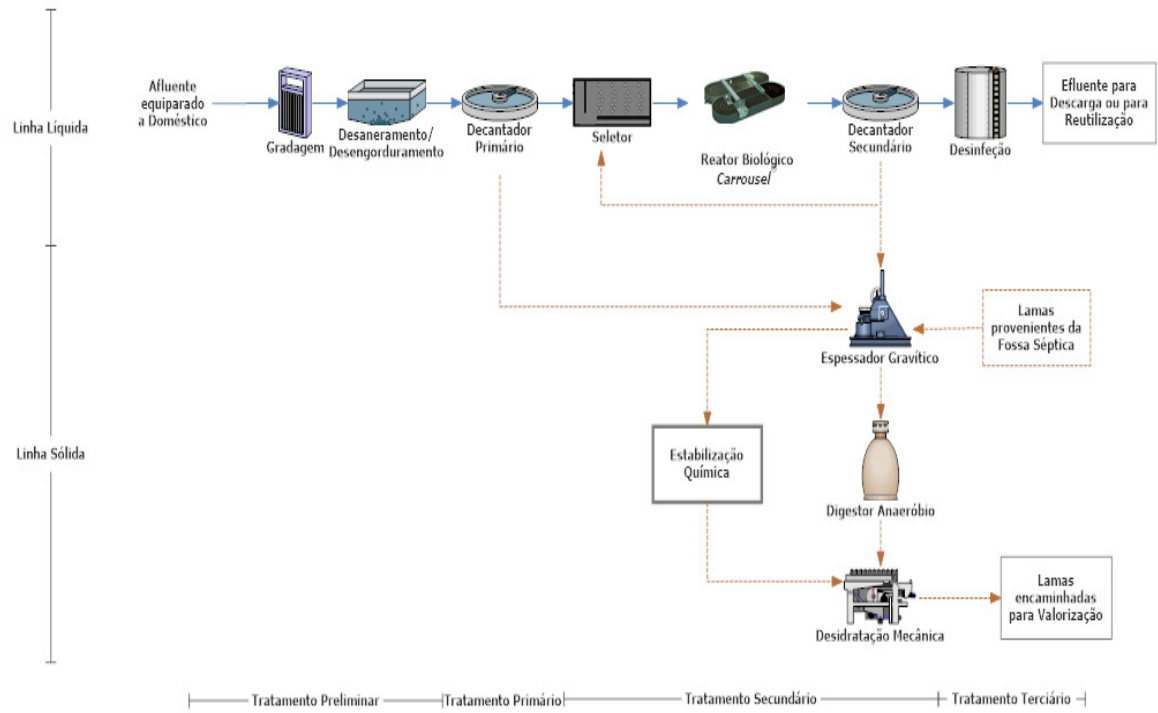
## 4.2. ETAR de Fernão Ferro

A ETAR de Fernão Ferro foi concebida para tratar água residual de uma população de 32 700 habitantes no ano horizonte de projeto de 2036. Esta infraestrutura apresenta uma capacidade hidráulica máxima de  $760 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  em ponta horária e capacidade hidráulica média de  $5 890 \text{ m}^3 \cdot \text{dia}^{-1}$  em tempo húmido. Os parâmetros de rejeição de efluente tratado são os que se encontram dispostos no Decreto-Lei n.º 157/97, sendo a  $\text{CBO}_5$  de  $25 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ , a CQO de  $125 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ , os SST de  $35 \text{ mg SST} \cdot \text{L}^{-1}$  e CF de 1 000 NMP/100 ml. As suas eficiências de remoção são de 93% para SST, 95% para  $\text{CBO}_5$  e 88% para CQO.

Em 2018, o caudal médio mensal tratado foi de  $86 412 \text{ m}^3 \cdot \text{mês}^{-1}$ . Dependendo da estação do ano, é reutilizada cerca de 2 a 7% de água residual para rega e ainda uma pequena fração como “água de serviço” para as infraestruturas.

Em termos gerais, a ETAR de Fernão Ferro é constituída por uma linha líquida principal composta por pré-tratamento, tratamento primário, secundário e terciário com desinfecção por hipoclorito. Possui uma linha sólida para tratamento e estabilização das lamas geradas e ainda, uma linha gasosa para tratamento de odores (Figura 4).

Esta ETAR apresenta parâmetros de rejeição de águas residuais tratadas similares às restantes ETARs da rede. No entanto nesta ETAR não se registam intrusões salinas significativas comparativamente a outras ETARs de rede. Será assim utilizada a água residual desta ETAR como água residual típica mas sem significativos teores de sais, nomeadamente cloreto de sódio.



**Figura 4** - Diagrama linear simplificado da ETAR de Fernão Ferro.

## 5. Materiais e Métodos

### 5.1. Espécies Estudadas

Neste trabalho foram escolhidos três espécies de plantas aromáticas, duas de culturas hortícolas e relva comum para estudar o efeito da salinidade das Águas Residuais Tratadas (ART) na sua rega.

#### 5.1.1. Plantas Aromáticas

Neste trabalho estudou-se o efeito da salinidade das Águas Residuais Tratadas na rega das espécies de plantas aromáticas: Tomilho Vulgar (*Thymus vulgaris*), Alecrim (*Rosmarinus officinalis*) e Alfazema (*Lavandula angustifolia*).

Tomilho Vulgar, *Thymus vulgaris*, da família *Lamiaceae*, é um arbusto perene, alóctone. É descrito como um arbusto de pequeno porte, de folhas pequenas, finas, lineares e de cor cinzenta esverdeada. As suas flores são brancas ou palidamente arroxeadas e o seu fruto é liso, ovoide e, em aquénio. É uma planta que se adapta bem a solos pobres e bem drenados, preferencialmente calcários e com muito sol, não tolerando excesso de humidade (Tavares, Zuzarte, & Salgueiro, 2010). O seu corte deve ser regular, após a floração, embora possa ser colhido durante todo o ano. O seu aroma concentra-se no verão, embora possa ser colhido durante todo o ano. É uma planta com utilização medicinal, tem propriedades antissépticas, antifúngicas, expetorantes, tónicas, digestivas e carminativas. O timol, proveniente do óleo essencial do tomilho, é um ingrediente importante em pastas dentífricas, produtos dermatológicos e medicamentos para o reumatismo (Póvoa & Delgado, 2014). Utiliza-se também para o tratamento de infeções cutâneas e das mucosas, estomatites, sinusites, rinites e otites (Tavares, Zuzarte, & Salgueiro, 2010; Cunha, et al., 2017).

Alecrim, *Rosmarinus officinalis*, da família *Lamiaceae*, é um arbusto grande, autóctone. É descrito como um arbusto lenhoso e muito ramificado, podendo atingir os 2 metros de altura. Apresenta folhas pequenas e finas, opostas, lanceoladas e desprovidas de pedúnculo<sup>2</sup>, sendo estas verde brilhante na parte superior e acinzentadas na parte inferior (Póvoa & Delgado, 2014). As suas flores reúnem-se em espiguihas terminais e são de cor azul ou esbranquiçada, o seu fruto é em tetraquénio (Tavares, Zuzarte, & Salgueiro, 2010). Este cresce em solo seco ou

---

<sup>2</sup> Região que antecede a flor ou o fruto.

moderadamente húmido, preferindo solos bem drenados, neutros ou alcalinos, com exposição solar máxima. É sensível ao excesso de água e a longos períodos de frio. Não tolera solos anaeróbios, contudo, tolera solos mediamente salinos. É utilizado medicinalmente, sendo que o seu óleo é usado no tratamento de dispepsia e formas mais leves de distúrbios gastrointestinais espasmódicos, anomalias de circulação, como complemento no tratamento da dor muscular ou articulas e inflamação (Borges, Ortiz, Pereira, Keita, & Carvalho, 2019). É ainda utilizado para tratamento de pedras nos rins, níveis elevados de açúcares no sangue, cólicas abdominais, alergias, doenças dermatológicas, perda de apetite, problemas menstruais, febre, dor de estômago, hipertensão, melhoramento da memória, antisséptico da garganta, reumatismo, caspa, fortificante, tosse, sinusite, depressão, dispneia, gripe, doenças cardiovasculares, asma, bronquite, flatulência, diabetes, insónia (Dehghani Bidgoli, Azarnezhad, Akhbari, & Ghorbani, 2019), entre outros (Cunha, et al., 2017; Borges et al., 2019).

Alfazema, *Lavandula angustifolia*, da família *Lamiaceae*, é um arbusto perene, alóctone. É descrita como um arbusto lenhoso, aromático com folhas lineares de cor verde sem pilosidade. As suas flores estão agrupadas em espigas, sendo que o cálice das flores é tubuloso, com cinco dentes curto exceto o superior que se prolonga na forma de um capuz. A corola é de cor azul intenso, tipicamente bilabiada. A sua colheita deve ser realizada na floração quando estão 50% das flores abertas (Póvoa & Delgado, 2014). É uma planta com utilizações medicinais, sendo que a sua inalação auxilia no tratamento da ansiedade (Lim, 2004). Um dos seus óleos essenciais obtido é anti-halitose, com propriedades antisséptica (em massagens contra dores de cabeça, ajuda a curar feridas, queimaduras, queimaduras solares, picadas, ajuda a prevenir a formação de tecido permanente de cicatriz) (Póvoa & Delgado, 2014), antiespasmódica, aromática, carminativa, colagógica<sup>3</sup>, diurética, calmante, sedativa, estimulante (para a histeria, paralisia e distúrbios semelhantes de debilidade e falta de poder nervoso), estomacal, tónica, restauradoras contra a fraqueza, tonturas, palpitações nervosas e cólicas. Para uso externo, alivia dores de dentes, neuralgia, entorses e reumatismo (Lim, 2004; Cunha, et al., 2017).

### 5.1.2. Culturas Hortícolas

Neste trabalho foram também estudadas as espécies vegetais: Alface Frisada (*Lactuca sativa var. crispata*) e Couve-galega (*Brassica oleracea var. Acephala DC*).

Alface Frisada, *Lactuca sativa var. crispata*, da família *Asteraceae*, apresentando-se semelhante à alface lisa, mas com pequenas ondulações no topo das folhas, apresentando cor roxa ou verde (Póvoa & Delgado, 2014). É uma verdura que deve ser cultivada preferencialmente a uma temperatura amena, ambiente e com boa luminosidade,

---

<sup>3</sup> Que estimula a expulsão da bÍlis

preferencialmente luz solar direta. Esta prefere solo bem drenado e a sua rega deve ser regular de modo a manter o solo humidificado (Hortas.Info, 2019). Tem utilizações medicinais, tem propriedades digestivas e indicações terapêuticas para problemas de insónia, diabetes, reumatismo e anemia (Póvoa & Delgado, 2014).

Couve-galega, *Brassica oleracea var. Acephala DC*, da família *Brassicaceae*, é uma couve com caule razoavelmente alto e com folhas largas. É muito resistente ao frio, pragas e doenças, adaptando-se a qualquer tipo de solo. Relativamente às utilizações medicinais, esta é utilizada como expetorante, melhorando sintomas de asma, tosse e bronquite, para tratar problemas de pele, dermatoses, pruridos e eczemas e ainda, para dores musculares, reumatismo, artrite, dor ciática e dor de cabeça (Póvoa & Delgado, 2014).

## 5.2. Águas Residuais Tratadas para Reutilização

Para a realização do estudo recorreremos a uma ETAR do grupo SIMARSUL, ETAR de Fernão Ferro – sem problemas de intrusão salina, para simular diferentes níveis de salinidade de modo a não haver discrepâncias nos valores obtidos. Consegue-se deste modo usar uma ART contendo os habituais nutrientes, mas em que a condutividade é controlada.

Todas as águas recolhidas foram caracterizadas em termos de parâmetros químicos, nomeadamente SST, CQO, CBO<sub>5</sub>(20), Nt (azoto total) e Pt (fosforo total), encontrando-se em anexo os respetivos boletins de análise disponibilizados pela SIMARSUL, Figura A 1 a A 5. Estas foram recolhidas antes do processo de desinfeção, no decantador secundário porque apesar de existir maiores riscos biológicos, a quantidade de sais é menor uma vez que a desinfeção é efetuada com cloro. Efetivamente o processo de desinfeção praticado é por adição de hipoclorito de sódio o que provoca também uma aumento da condutividade da água residual. Como se pretende seguir os níveis de salinidade através da medida de condutividade foi acordado com a SIMARSUL a utilização de água residual não desinfetada.

Para a produção de águas residuais com salinidades controladas foram utilizadas águas residuais da ETAR de Fernão Ferro (sem intrusão salina) às quais se adicionaram NaCl. Deste modo produziram-se águas residuais com condutividade bem definida mas que tiveram como base águas residuais reais. A escolha do valor máximo de condutividade foi definida com base nos valores referenciados pela ISO 16075-1:2015 (Tabela 4). Para os ensaios foram produzidas águas com três níveis de salinidade: um valor mínimo e intrínseco da água recolhida na ETAR de Fernão Ferro (sem adição de NaCl), condutividade de 2,00 dS/m e condutividade de 4,00 dS/m. Conseguiu-se deste modo ter águas residuais tratadas com os seus constituintes habituais mas com teores de sal controlados de modo a cumprir o planeamento experimental.

### 5.3. Caracterização da Água

#### 5.3.1. Salinidade na Água

A salinidade de uma água (S) é devida à presença de sais dissolvidos e pode ser expressa pela equação:

$$S (\%) = \frac{\text{g iões inorgânicos dissolvidos}}{1 \text{ kg de água do mar}} \times 100 \quad (1.1)$$

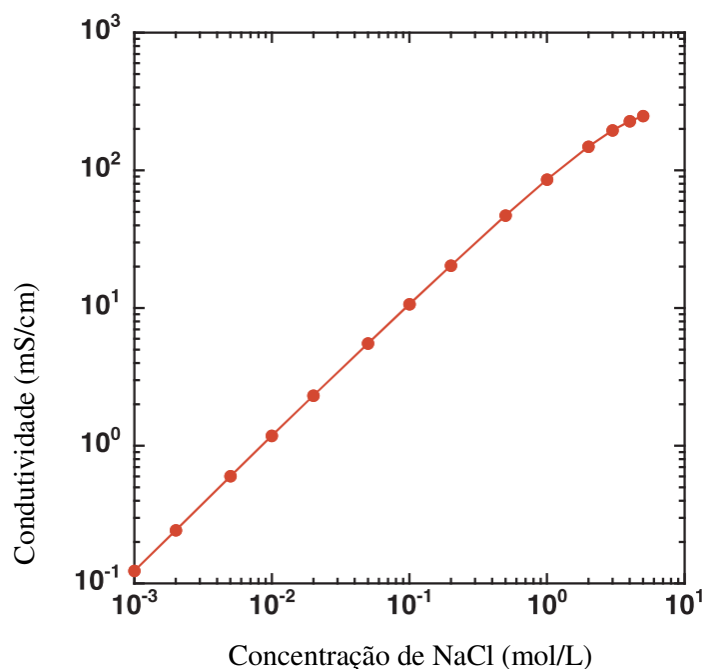
Esta pode ser avaliada através de diversos parâmetros, dos quais o mais importante é a Condutividade Elétrica. A condutividade elétrica será tanto maior, quanto maior for a concentração de iões na água. A condutividade elétrica é determinada através de uma célula de condutividade e expressa-se geralmente em  $\text{dS.m}^{-1}$  (deciSiemen por metro) (Monte & Albuquerque, 2010). Sendo também usual a sua expressão em  $\mu\text{S.cm}^{-1}$ , onde  $1 \text{ dS.m}^{-1} = 1 \text{ mS.cm}^{-1} = 0,01 \mu\text{S.cm}^{-1}$ .

Uma avaliação completa e detalhada da salinidade da água engloba a determinação da condutividade, dos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) e de concentrações de alguns iões específicos, como o  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{B}^{3+}$ , dando informação acerca do tipo de sais predominantemente contribuintes para a salinidade (Monte & Albuquerque, 2010). Contudo, na prática corrente, a condutividade elétrica é o parâmetro mais utilizado, exclusivamente, sendo o mais simples e rápido de se realizar.

A salinidade pode ser classificada com diferentes valores encontrados na literatura, como tal, optou-se apenas por um dos muitos tipos de classificações. Cassaniti et al. (2013) classificaram a salinidade da água como água doce com valores de S abaixo de  $600 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , ligeiramente salobra com salinidade variando de 600 a  $1500 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , salobra com salinidade de 1500 a  $3000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , moderadamente salina de 3000 a  $8000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , solução salina de 8000 a  $15000 \mu\text{S.cm}^{-1}$  e altamente salina de 15000 a  $45000 \mu\text{S.cm}^{-1}$ .

Como valores típicos, refira-se que uma a água pura apresenta um valor de condutividade de aproximadamente  $0,055 \mu\text{S.cm}^{-1}$ , a água da torneira apresenta um valor de aproximadamente  $50\text{-}1000 \mu\text{S.cm}^{-1}$  e a água do mar apresenta um valor de aproximadamente  $53000 \mu\text{S.cm}^{-1}$  (Amaro, 2016).

Para determinar a salinidade, normalmente usam-se métodos indiretos que envolvem a medição da condutividade elétrica. A relação entre a condutividade e a salinidade é apresentada na Figura 5.



**Figura 5** - Relação entre a condutividade e a salinidade.

(Adaptado de Kamcev et al., 2018)

No presente trabalho a determinação da salinidade das águas foi realizada através da medição da condutividade elétrica utilizando-se um condutivímetro WTW Multi 340i TetraCon® 325. As medidas foram realizadas à temperatura ambiente, no entanto a célula disponha de um sensor de temperatura através do qual o equipamento realizava a correção dos valores de condutividade medidos.

### 5.3.2. SAR

A relação de adsorção de sódio – SAR – é um parâmetro calculado em função dos teores de cálcio, magnésio e sódio (equação 1.2), que representa o perigo de sodicidade, ou a proporção relativa de sódio em relação aos outros catiões na água, expressos em meq/L (ISO 16075-1:2015).

$$SAR (meq/L) = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{(Ca+Mg)^{2+}}{2}}} \quad (1.2)$$

Segundo o perigo de sodicidade, as águas são classificadas em 4 classes (Oliveira & Varela, 2005):

- S1 – Água com baixa concentração de sódio
- S2 – Água com média concentração de sódio
- S3 – Água com alta concentração de sódio

#### S4 – Água com muito alta concentração de sódio

Segundo Varennes (2003), a água destinada para rega com valores de SAR inferiores a 3 poderá ser utilizada em todos os tipos de solo sem que haja risco de acumulação de sódio, desde que ocorra lixiviação em parte do ano. Se o valor de SAR variar entre 3 e 9, a água poderá apenas ser utilizada em solos de textura grosseira com boa permeabilidade. Águas com valores de SAR superiores a 9 não devem ser utilizadas para rega contínua, a não ser que não tenham uma S muito elevada e seja adicionado gesso ao solo.

A determinação do índice SAR foi calculado determinado a concentração dos iões por espectroscopia de absorção atómica e cromatografia iónica nas águas para rega da estufa (água da torneira, ART, ART<sub>Méd</sub> e ART<sub>Máx</sub>). A determinação de SAR foi realizada num estudo desenvolvido em paralelo ao presente trabalho e encontram-se descritos com maior detalhe em Almeida (2019).

#### 5.3.3. pH

Segundo Oliveira & Varela (2005) os valores normais de pH para água de rega encontra-se entre 6,5 e 8,4. A variação de um valor fora desta escala pode causar um desequilíbrio nutritivo, ou pode conter um ião tóxico. Assim sendo, um valor anormal de pH na água de rega poderá representar um impacto negativo no equipamento de rega, isto é, a água pode ser muito corrosiva, e como tal, corroer rapidamente as tubagens e os equipamentos metálicos, bem como facilitar a precipitação de determinados componentes químicos presentes na água, ou ainda, o desenvolvimento de microrganismos que causam indiretamente entupimento dos emissores.

Para quantificar os iões presentes usa-se o conceito de pH, definido como:

$$pH = \log \frac{1}{(H^+)} = -\log(H^+) \quad (1.3)$$

O valor de pH igual a 7 corresponde à neutralidade; valores inferiores indicam condições ácidas e superiores condições alcalinas.

### 5.4. Caracterização dos Solos

Segundo Varennes (2003), a qualidade do solo é considerada como a capacidade do solo para aceitar, armazenar e reciclar água, nutrientes e energia. Este tem quatro funções essenciais:

- Suportar o crescimento vegetal, proporcionando o meio para o desenvolvimento das raízes, e fornecendo água e nutrientes para a planta;
- Reciclar resíduos e tecidos mortos, animais e vegetais, tornando de novo disponíveis os elementos constituintes;
- Fornecer nichos ecológicos onde vivem milhões de seres vivos;

- Controlar o movimento e a qualidade da água em bacias hidrográficas (Varenes, 2003).

Para a caracterização dos solos começou-se por preparar as amostras. Esta etapa é compreendida entre a recolha e a análise das amostras e inclui vários subprocedimentos como secagem, peneiração, entre outros. Alguns destes passos podem ser fonte de contaminação, essencialmente devido ao tipo de utensílios, à pureza dos reagentes e à água utilizados, assim como ao ambiente laboral (Silva, 2015).

Primeiramente colocámos as amostras em caixas de cartão novas e para uso alimentar com tampa para secarem a 65 °C durante 12 h, numa estufa (Mettler U50), de modo a remover a maior quantidade de humidade contida nas amostras.

#### 5.4.1. Granulometria

A matéria mineral sólida do solo pode incluir, em proporções extremamente variáveis, fragmentos de rocha e minerais primários, e minerais de origem secundária, resultantes da alteração dos primeiros. Para os de diâmetro inferior a 2 mm, designados por terra fina, subdividindo-se em areia, limo e argila, consoante o seu diâmetro, sendo respetivamente de, 2 a 0,02 mm, 0,02 a 0,002 mm, ou menor que 0,002 mm. Para os de diâmetro superior a 2 mm, designados por elementos grosseiros, subdividindo-se em calhaus, pedras, cascalho e saibro, consoante a sua dimensão, sendo respetivamente de, 200 a 100 mm, 100 a 20 mm, 20 a 5 mm e, 5 a 2 mm (Varenes, 2003; Costa, 2011).

Para a medição da granulometria, peneirou-se as amostras com a utilização de um peneiro mecânico (Retsch AS200 control “g”). Utilizámos crivos de 2.00 mm, 1.40 mm, 1.18 mm, 1.00 mm, 710 µm, 500 µm e 355 µm, numa amplitude de agitação de 1,50 mm/g, durante 10 minutos. Ao fim deste tempo, procedemos à pesagem de cada peneiro na balança digital (Mettler Toledo PB3002) com o solo peneirado e posteriormente, com o peneiro limpo tendo sido guardada a amostra de solo novamente na caixa de cartão.

#### 5.4.2. pH

A classificação dos solos é baseada nos valores de pH em água conforme Tabela 9 (Varenes, 2003).

**Tabela 9** - Classificação dos solos segundo o valor de pH.

| <b>Intervalo de pH (H<sub>2</sub>O)</b> | <b>Designação</b> |
|-----------------------------------------|-------------------|
| <4,5                                    | Muito ácido       |
| 4,6 – 5,5                               | Ácido             |
| 5,6 – 6,5                               | Pouco ácido       |
| 6,6 – 7,5                               | Neutro            |
| 7,6 – 8,5                               | Pouco alcalino    |
| 8,6 – 9,5                               | Alcalino          |
| > 9,5                                   | Muito alcalino    |

(Adaptado de Varennes, 2003)

Para a medição do pH dos solos utilizou-se o método potenciométrico de referência numa suspensão solo/CaCl<sub>2</sub> (aq) de acordo com a ISO 10390 (2005) (Silva, 2015).

O procedimento para a medição de pH foi realizado no laboratório à temperatura ambiente mas sem grandes oscilações de temperatura.

Pesámos numa balança digital (Mettler Toledo AG 204) 10,00 g de solo para um copo de precipitação de 50 mL, ao qual adicionámos 25 mL de solução de CaCl<sub>2</sub>, 0.01 mol/L (pH em CaCl<sub>2</sub>). Esta foi preparada a partir de CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O para análise da Merck.

Agitou-se a mistura durante 30 minutos numa placa de agitação e de seguida as amostras repousaram durante 1 hora. Voltámos a agitar ligeiramente a suspensão e efetuámos 6 leituras de pH em cada amostra. As leituras foram realizadas com um aparelho medidor de pH (Crison micropH 2002) com um eléctrodo combinado de pH da Crison e sensor de temperatura. O eléctrodo de pH foi calibrado antes da medição das amostras com soluções tampão de pH 7,00±0,02 e 4,00±0,02 da Panreac.

### 5.4.3. Teor de sais nos solos

A aferição do teor de sais nos solos foi realizada através da extração dos sais presentes nestes com água ultrapura seguida da medida de condutividade da água.

Pesou-se numa balança digital (Mettler Toledo AG 204) 20,00 g de solo para um erlenmyer de 250 mL, ao qual adicionámos 100 mL de água ultrapura medidos com proveta. Agitámos as amostras durante 30 minutos a 400 rpm. Lavou-se e secou-se a célula condutimétrica e efetuámos 6 leituras de condutividade para cada uma das amostras. As leituras foram realizadas à temperatura ambiente com a sonda WTW Multi 340i TetraCon® 325.

Na última amostragem, após este procedimento, realizou-se medições de condutividade 24 h, 48 h, 144 h e 126 h após a primeira medição. Verificou-se deste modo que a condutividade não aumentou significativamente desde a primeira medida o que confirma a extração total de

saís dos solos. Realizou-se ainda, a medição da condutividade nas amostras após estas terem sido submetidas a ondas de ultrassom de modo a quebrar os sais que ainda se encontrassem por dissolver. A submissão das amostras a ondas de ultrassom realizou-se durante 5 min, a 5x100% cycle e com 60% de potência numa Bandelin Sonoplus.

#### 5.4.4. Percentagem de Água e Matéria Orgânica

A matéria orgânica representa usualmente 1 a 6% da massa total da camada arável dum solo mineral, influenciando assim as suas propriedades físicas e químicas. Esta é constituída por uma variedade de substâncias, incluindo seres vivos (organismos do solo), tecidos mortos vegetais e animais em vários estádios de decomposição, e uma mistura complexa de material orgânico, denominado de húmus (Varenes, 2003; Costa, 2011).

Segundo Costa (2011), são considerados como solos orgânicos aqueles que contêm mais de 20% de matéria orgânica (nos casos de textura grosseira) ou mais de 30% (se a textura é média ou fina) com espessura superior a 30 cm. Todos os restantes, que são os mais vulgares, designam-se por solos minerais. Nos solos orgânicos, os compostos orgânicos representam desde 20 a 30% até mais de 90% do peso seco.

Para a determinação da matéria orgânica foi utilizado o método gravimétrico associado ao aquecimento e calcinação da matéria orgânica presente nos solos. A obtenção da matéria seca do solo após aquecimento a 550 °C produz um solo livre de matéria orgânica através da calcinação desta. Para a determinação começou-se por tarar cápsulas de porcelana. Para tal colocou-se as cápsulas, devidamente identificadas, na mufla Heraeus Instruments a 550 °C até peso constante. Ao atingir peso constante obtêm-se as taras das respetivas cápsulas.

Numa balança digital (Mettler Toledo AG 204) pesámos com precisão analítica, aproximadamente 2 g de solo para as cápsulas taradas.

De modo a determinar a percentagem de água das amostras de solos, colocou-se as cápsulas com solos na mufla a 105 °C até peso constante. Para determinar o teor de matéria orgânica colocou-se de seguida as cápsulas na mufla a 550 °C, efetuando-se ciclos de aquecimento e arrefecimento até peso constante.

Para o cálculo da percentagem de percentagem de água existente nas amostras recolhidas, utilizaram-se as seguintes expressões, de acordo com o procedimento da norma ISO 11465 (1993) e CEN/TC (2003) (Silva, 2015):

$$\% H_{retirada} = [(m_{C+S(105^{\circ}C)} - m_{C(550^{\circ}C)})/m_S] \times 100 \quad (1.8)$$

Ou

$$\% H_{existente na amostra} = [(m_{C+S} - m_{C+S(105^{\circ}C)})/m_S] \times 100 \quad (1.9)$$

Sendo:

$m_{C+S(105^{\circ}C)}$  – massa do cadinho + massa de solo a peso constante a 105°C;

$m_{C+S}$  – massa do cadinho a peso constante + massa de solo;

$m_{C(550^{\circ}C)}$  – massa do cadinho a peso constante a 550°C;

$m_s$  – massa de solo.

Para o cálculo da percentagem de matéria orgânica nas amostras recolhidas, de acordo com o procedimento anterior, utilizou-se a seguinte expressão:

$$\% MO = [(m_{C+S(105^{\circ}C)} - m_{C+S(550^{\circ}C)}) / (m_{C+S(105^{\circ}C)} - m_{C(550^{\circ}C)})] \times 100 \quad (1.10)$$

Sendo:

$m_{C+S(105^{\circ}C)}$  – massa do cadinho + massa de solo a peso constante a 105°C;

$m_{C+S(550^{\circ}C)}$  – massa do cadinho + massa de solo a peso constante a 550°C;

$m_{C(550^{\circ}C)}$  – massa do cadinho a peso constante a 550°C.

#### 5.4.5. Retenção de Água

Após a última rega, passados cerca de 10 min, foram retiradas, de cada um dos vasos, cinco amostras de solo em toda a profundidade dos vasos. As cinco amostras de cada vaso foram misturadas e originaram uma amostra composta. Foram de seguida imediatamente pesadas analiticamente. As amostras foram de seguida secas durante 48 h a 65°C. Após secagem, as amostras foram novamente pesadas analiticamente de modo a obter a percentagem de água retida no solo em cada um dos vasos.

### 5.5. Caracterização das Espécies Plantadas

Para a caracterização das espécies plantadas começou-se por preparar as amostras (ramo/flor/folha), colocando-as em caixas de cartão novas e para uso alimentar com tampa para secarem a 65 °C durante 72 h, numa estufa (Memmert U50), de modo a remover a maior quantidade de humidade contida nas amostras. Na 3ª amostragem, a preparação das amostras realizou-se excluindo os ramos maiores, como é possível observar na Figura 6.



**Figura 6** - Preparação das amostras para a caracterização das espécies plantadas.

### 5.5.1. Teores de sais nas Plantas

A salinidade nas plantas foi medida através da medição da condutividade da solução aquosa extraída das plantas secas.

Para a realização da extração dos sais das plantas e posterior quantificação, as plantas foram secas a 65 °C durante cerca de quatro dias. Após arrefecimento das mesmas, foi realizada a sua moagem num moinho de bolas de ágata (Retsch S100), durante 8 minutos a 500 rpm. Usou-se um almofariz com 250 cm<sup>3</sup> de capacidade e 3 esferas de 2,00 cm de diâmetro, ambos de ágata. Com este procedimento obtêm-se um pó fino das plantas secas que é de seguida submetido a uma extração aquosa acelerada por ultrassom.

A irradiação das amostras aos ultrassom realizou-se durante 15 mim, a 5x100% cycle e com 60% de potência numa Bandelin Sonoplus. Da solução obtida foi medida a condutividade eléctrica que se realizou-se com a sonda WTW Multi 340i TetraCon® 325 a uma temperatura que variou entre 26,0 e 27,0 °C. É importante referir que este procedimento poderá ter perdas associadas a considerar, sendo que após a amostra aquosa passar pelo equipamento de ultrassom há uma perda pouco significativa da substância devido a algum pó de plantas ou solos ficarem depositados na sonda de ultrassom. A condutividade eléctrica obtida foi relacionada com a quantidade de sais, nomeadamente NaCl.

### 5.5.2. Percentagem de Água nas Plantas

A determinação da humidade foi efetuada pela secagem das plantas a 65 °C e após arrefecimento das mesmas, a sua moagem num moinho de bolas de ágata (Retsch S100), durante 8 minutos a 500 rpm. Como auxílio, usámos um almofariz com 250 cm<sup>3</sup> de capacidade e 3 esferas de 2,00 cm de diâmetro, ambos de ágata.

Posteriormente, pesámos as amostras moídas numa balança digital (Mettler Toledo AG 204) e deste modo obtivemos a percentagem de água removida através de um cálculo intermédio.

### 5.5.3. Clorofila

A clorofila *a* e a clorofila *b* são alguns dos principais pigmentos fotossintéticos e desempenham um papel importante na fotossíntese. A clorofila *a* funciona como dadora de eletrões primários, enquanto que a clorofila *b* é considerada como o principal pigmento acessório para a colheita de luz e transferência de energia (García-Caparrós & Lao, 2018).

A resposta da fotossíntese ao stress salino é altamente complexa, sendo que o stress abiótico afeta a fotossíntese tanto a curto como a longo prazo. A curto prazo, a salinidade poderá afetar a fotossíntese levando a uma diminuição na assimilação de carbono, devido a limitações estomacais. A longo prazo, a salinidade poderá afetar também o processo fotossintético, dando-se a acumulação de sais nas folhas jovens e consequente diminuição das concentrações de clorofila e carotenoides (García-Caparrós & Lao, 2018).

Para a determinação da clorofila *a* e *b*, pesou-se 1 g de couve/alface e 0,5 g de relva fresca correspondente de cada vaso em Erlenmeyers (12 amostras no total) e adicionou-se 50 mL de acetona PA – acetona para análise ACS-ISO. Colocaram-se as 12 amostras no frigorífico a  $5 \pm 0,5$  °C, no escuro durante aproximadamente 24 h. Posteriormente, foram extraídos 35 mL de cada amostra (Figura 7) e centrifugados durante 3 min a 400 rpm numa centrífuga Hermle Z 206 A. Por último, realizou-se uma leitura do sobrenadante das amostras centrifugadas num espectrofotómetro (Thermo Nicolet Evolution e300) a 662 nm para a clorofila *a* e a 646 nm para clorofila *b*.

Para o cálculo da clorofila *a* e clorofila *b* utilizam-se as seguintes expressões (Lichtenthaler & Buschmann, 2005):

$$C_a = 11,24A_{662} - 2,04A_{646} \quad (1.11)$$

$$C_b = 20,13A_{646} - 4,19A_{662} \quad (1.12)$$

Sendo que:

$A_{662}$  e  $A_{646}$  – absorvância medida a 662 nm e 646 nm respetivamente

$C_a$  e  $C_b$  – concentração da clorofila *a* e *b* respetivamente (mg/mL)

Sendo que:

$$A = \epsilon lc \quad (1.13)$$

Onde:

$l = 1$  cm

$\epsilon = 88,15 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^{-1}$

c =concentração



**Figura 7** - Determinação da clorofila *a* e *b* nas amostras de relva

## 5.6. Avaliação da Germinação

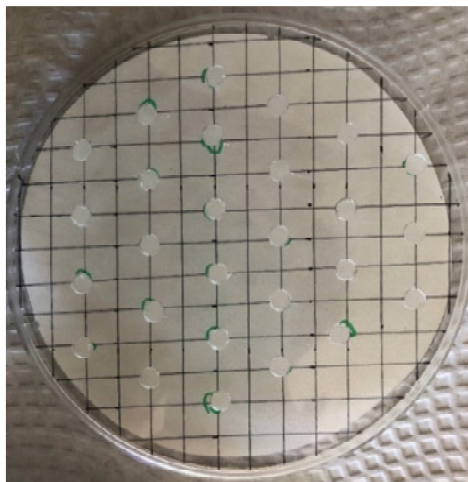
Com base no estudo realizado por Lamas (2012), realizou-se um ensaio de germinação e crescimento em diferentes meios. Este ensaio foi realizado com sementes de duas espécies diferentes, Alface Gentilina e Couve Galega (Figura 8), ambas as sementes da marca RJS (Rogério de Jesus Santos). Este ensaio foi preparado de modo a avaliar o efeito na germinação e crescimento das plântulas numa fase inicial de desenvolvimento em diferentes meios.



**Figura 8** - Sementes utilizadas para a avaliação da germinação.

Para a realização deste ensaio prepararam-se 16 placas de petri (com 13,5 cm de diâmetro), devidamente identificadas, cada uma contendo uma camada de algodão cardado e uma folha de papel de filtro por cima. Para rega foram utilizados 4 tipos de águas, água da torneira (TORN.), água residual tratada (ART) proveniente da ETAR de Fernão Ferro, água residual tratada com metade da salinidade (ARTMéd.) (2,00 mS/cm) e água residual trata com máxima salinidade (ARTMáx.) (4,00 mS/cm) provenientes da mesma ETAR.

Colocou-se 60 mL de solução em cada placa de petri, de modo a deixar o algodão cardado e o filtro sempre humedecidos. Seguidamente, com a ajuda de uma quadricula de 1x1 cm (Figura 9) colocaram-se 27 sementes (das duas espécies, mas separadas) em cada placa (duplicados representados pelo símbolo #) e por fim, colocou-se película aderente de modo a fechar as placas de petri. Ao fim de 3 dias as placas foram destapadas, após ter ocorrido germinação. As placas foram mantidas nas mesmas condições durante três semanas, à temperatura ambiente, de modo a avaliar o efeito do NaCl nas plântulas nas fases iniciais de desenvolvimento após germinação. Durante este período procedeu-se à adição de solução sempre que se considerou necessário de modo a manter o algodão e o filtro humedecido.



**Figura 9** - Quadricula 1x1 cm utilizada na experiência.

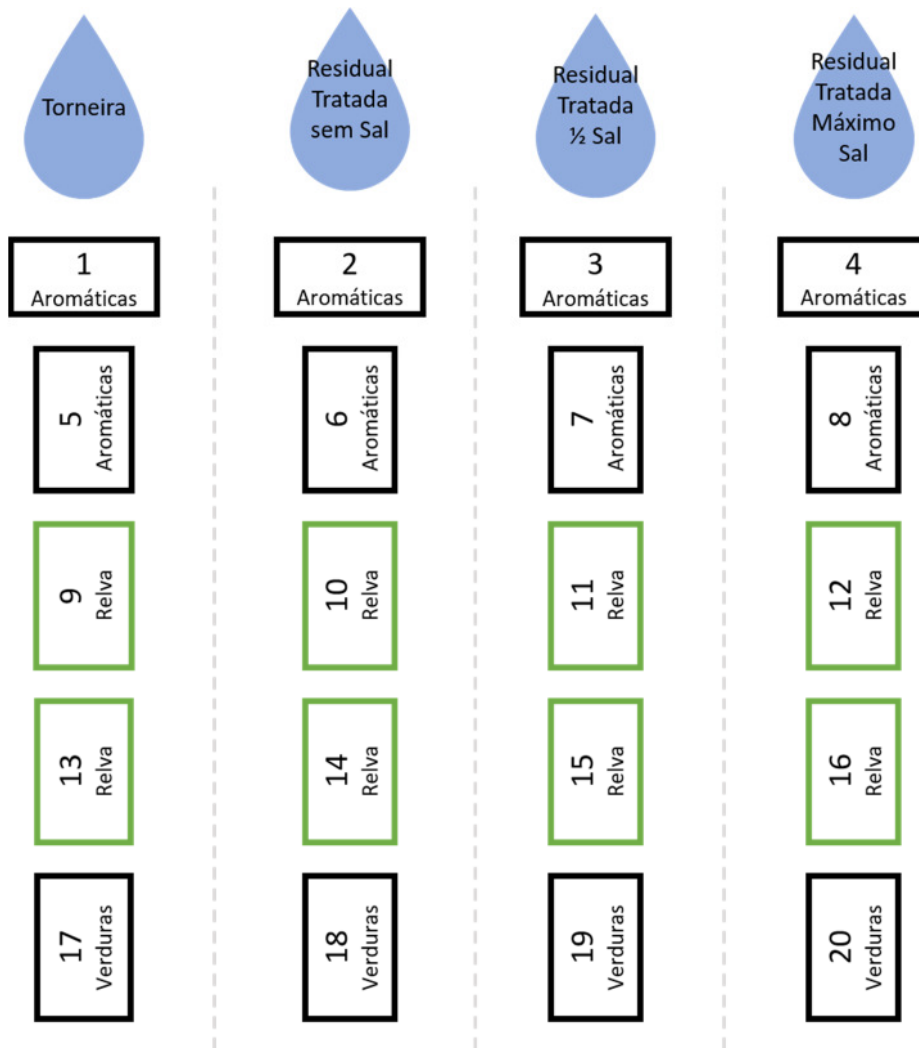
### **5.7. Cultivo das Espécies em Ambiente Controlado - Estufa**

Na estufa plantaram-se 3 de plantas aromáticas, 1 de relva, 1 de couve e por último, 1 de alface.

Cada espécie encontra-se disposta em vasos diferentes à exceção da Alfazema e Alecrim, que se encontram no mesmo vaso e da Couve e Alface que também se encontram no mesmo vaso. Segundo Bueno, Urrestarazu, Pilar Cordovilla, & Aparicio (2014) a interação do tomilho com outra espécie no mesmo espaço (vaso), em condições de stress leva ao aumento da produção de etileno e a sua libertação no solo, levando à morte da outra espécie por intoxicação. Deste modo, optou-se por manter o tomilho sozinho nos vasos.

Relativamente à rega das plantas, estas foram irrigadas com 4 tipos de água, Água de Torneira (TORN.), Água Residual Tratada (ART), proveniente da ETAR de Fernão Ferro, Água Residual Tratada, proveniente da mesma ETAR, suplementada com duas medidas de NaCl diferentes, sendo uma considerada Média (ARTMéd.) e outra Máxima (ARTMáx.). A ARTMéd. apresenta sensivelmente 2,00 mS/cm e a ARTMáx. 4,00 mS/cm, de condutividade, tendo sido testado assim o parâmetro máximo permitido por lei e o seu meio-termo. A ART foi recolhida no decantador secundário antes da desinfeção para não aumentar o valor em saís, uma vez que a desinfeção é efetuada com cloro.

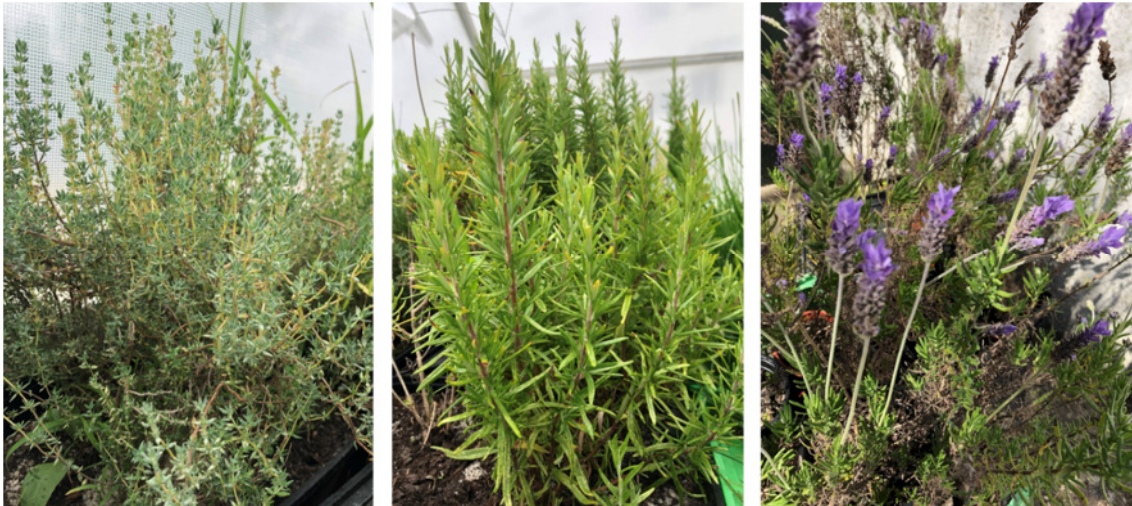
A disposição dos vasos consoante o tipo de água a ser utilizada para rega encontra-se retratada na Figura 10.



**Figura 10** - Disposição dos vasos consoante o tipo de água a ser utilizada para irrigação na estufa.

### 5.7.1. Espécies Plantadas

De plantas aromáticas plantou-se tomilho, alecrim e alfazema, observável na Figura 11 respetivamente. Estas são encontradas em espaços verdes, são plantas alóctones e autóctones, utilizadas como plantas decorativas e com possibilidade de aproveitamento dos seus óleos essenciais.



**Figura 11** - Plantas aromáticas plantadas - Tomilho, Alecrim e Alfazema.

De culturas hortícolas plantou-se alface frisada e couve-galega, observável na Figura 12, respetivamente. Estas culturas como alimento podem ser ingeridas cruas (alface) e cozinhadas (couve) e, os resultados do estudo irão complementar resultados de estudos realizados anteriormente envolvendo as águas de rega contendo metais tóxicos.



**Figura 12** – Culturas hortícolas plantadas - Alface e Couve.

Por último, plantou-se relva comum, sendo esta utilizada em grande peso em campos de golfe, onde Portugal foi eleito o melhor destino de golfe do mundo.

### 5.7.2. Substratos utilizados para cultivo das plantas

O solo utilizado variou consoante o tipo de planta, utilizando-se para a relva e culturas hortícolas substrato agrícola – Siro Horta – de classe A, e para as plantas aromáticas substrato universal – Eco Grow, ambos misturados com areia de rio, sendo a proporção para cada:  $\frac{1}{2}$  areia +  $\frac{1}{2}$  substrato. As características dos dois tipos de substratos encontram-se descritas na Tabela 10. Para simular a retenção de água nos vasos como é observável na colocação de pedras no fundo dos vasos, colocou-se garrafas de plástico de 1,5 L cortadas ao meio e de comportamento inerte.

**Tabela 10** - Características dos tipos de substratos utilizados.

| Substrato Agrícola Siro Horta     | Substrato Universal Eco Grow  |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| pH: 5.5 – 6.5                     | pH: 6                         |
| Teor em matéria orgânica: >60%    | Teor em matéria orgânica: 70% |
| Condutividade: 150-200 $\mu$ S/cm | -                             |
| Granulometria: 0-15 mm            | -                             |

### 5.7.3. Procedimento Experimental

Para o cultivo das espécies foi necessário preparar os vasos a utilizar. No fundo dos vasos um buraco e colocou-se uma mangueira e foram adicionadas garrafas de 1,5 L cortadas ao meio para simular a retenção de água e de modo a ser possível recolher as águas lixiviadas com garrafões, como é observável na Figura 13. Posteriormente, os vasos foram encheidos com solo, composição descrita no ponto anterior, e plantou-se as espécies a 23 de março.

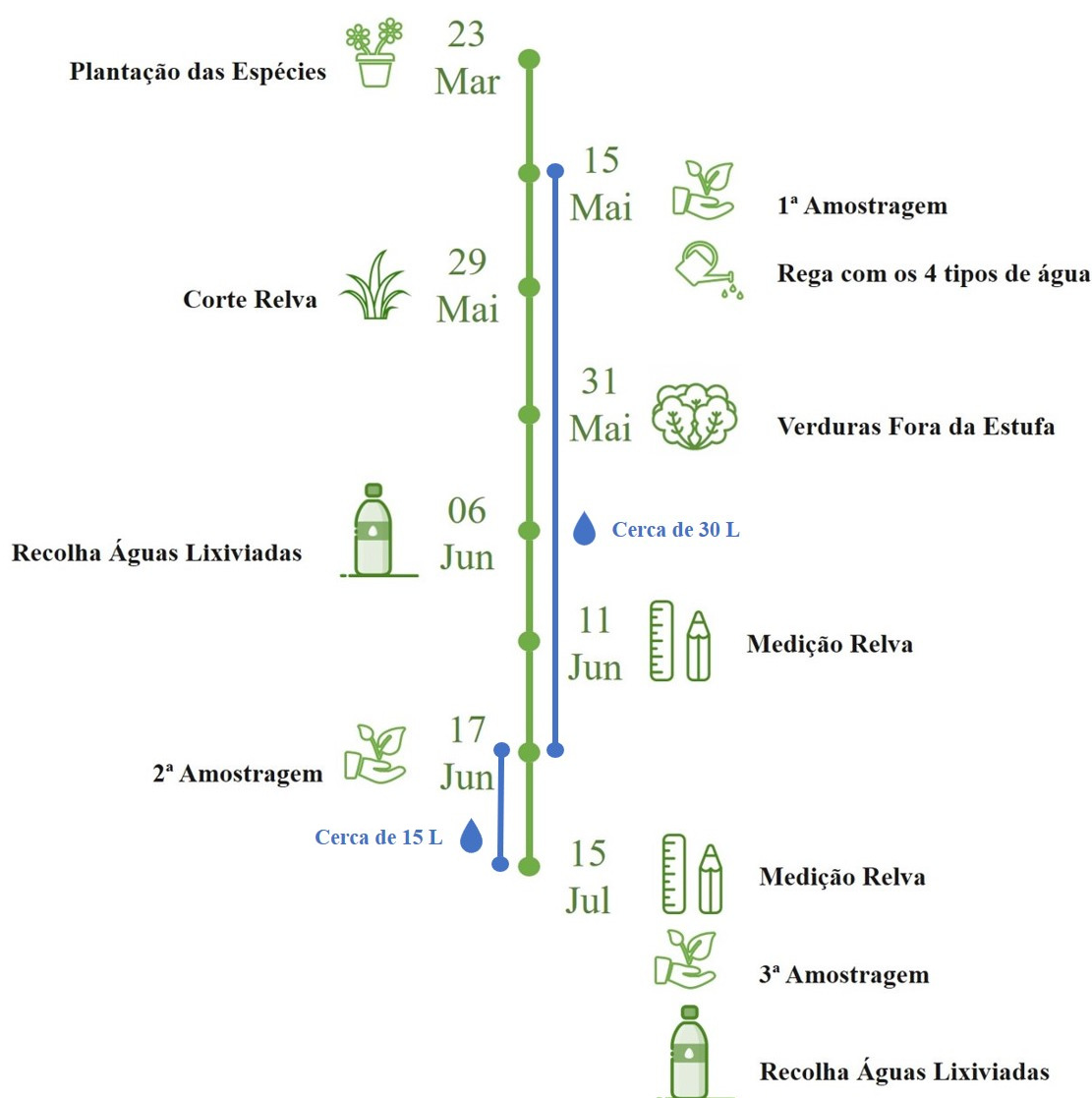


**Figura 13** - Preparação da estufa.

Durante as primeiras duas semanas, todas as espécies foram irrigadas com água da torneira, para uma melhor adaptação das mesmas ao novo meio.

A partir da terceira semana, 15 de maio, a rega das espécies passou a ser com os diferentes tipos de água, discriminados no ponto 6.5. A rega era realizada em média 3 vezes por semana, cerca de 1 L para cada vaso, maior quantidade quando considerámos que as plantas evidenciavam sinais de “sede”. Quando a temperatura média aumentou (variação de temperatura) reforçámos o número de vezes de rega por semana.

Para melhor compreensão, apresenta-se na Figura 14 um *timeline* do estudo realizado em estufa.



**Figura 14** - *Timeline* do estudo realizado em estufa.

O corte (cerca de 2,0/2,5 cm do vaso) (Figura 15) e medição de relva foi realizado de modo a ser possível avaliar a taxa de crescimento da relva durante a fase experimental.



**Figura 15** - Procedimento de corte de relva.

As culturas hortícolas foram colocadas fora da estufa devido ao aumento da temperatura no interior da mesma.

Com a recolha das águas lixiviadas realizaram-se medições de pH e condutividade.

Durante toda a fase experimental foi realizada a medição dos parâmetros de humidade e temperatura no interior da estufa. A medição destes parâmetros foram realizados de duas maneiras, a primeira com a utilização de um equipamento de medição que se coloca no solo – *Conrad 4 in 1 soil measuring device* - e a segunda, com a utilização de um termómetro *Uni-T UT330A Mini USB Temperature Data Recording Logger Meter Thermometer IP67* com medição contínua e um termómetro de vidro com precisão de 1 grau a servir de controlo.

Com a medição de temperatura ambiente da estufa pretendeu-se registar as condições de ambientais de crescimento das plantas e também registar as temperaturas mínimas e máximas no decorrer do ensaio. A temperatura dava-nos também a indicação da necessidade de regas mais frequentes, nomeadamente nos períodos de maior calor.

## 6. Resultados e Discussão

### 6.1. Monitorização em Contínuo da Salinidade da Estação de Tratamento de Águas Residuais de Barreiro/Moita

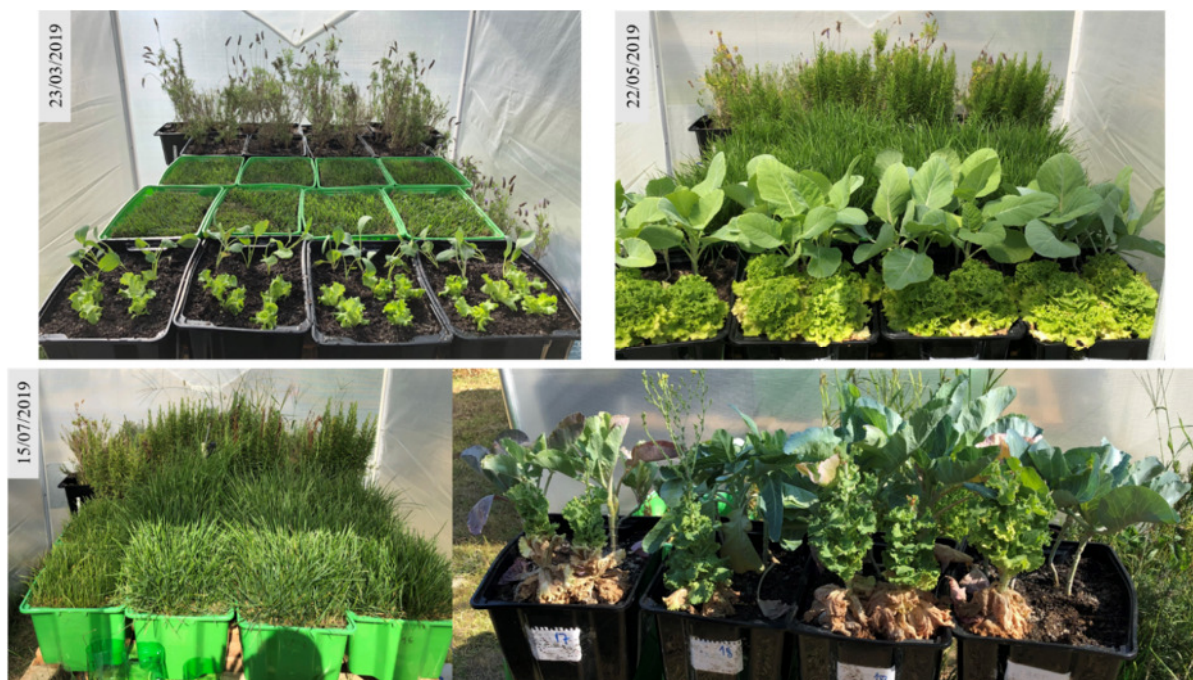
Tendo em conta que a medição da condutividade foi efetuada durante 6h, começando às 9h40 e o pico de maré alta (preia-mar) ter ocorrido às 5h29, a variação em que a água do estuário infiltrada demora mais tempo a chegar à ETAR visto que a essa hora o caudal de afluente é relativamente pequeno. Demorando mais tempo a chegar até às infraestruturas, o caudal medido foi maioritariamente caudal proveniente da intrusão salina. Considerando que o tempo de medição foi curto e tendo em conta que o tempo de retenção da água dentro da própria ETAR, só na decantação secundária são cerca de 13h00, só é possível ao fim de 1 ou 2 dias verificar-se alterações nos dados obtidos. Contudo, com os dados obtidos pela realização desta medição, sabemos que a condutividade ficou homogénea, tendo sido uma observação curta (Tabela 11). Com observações mais prolongadas, pelo trabalho realizado por Figueiredo (2018), verifica-se a variação da condutividade ao longo da variação das marés, sendo esta variável pelos amortecedores e tempos de retenção na ETAR.

**Tabela 11** - Valores obtidos da monitorização realizada na ETAR de Barreiro/Moita.

| Tempo<br>(h) | Condutividade (mS/cm)  |                         |                                        | Altura da<br>Maré<br>(m) |
|--------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------------|--------------------------|
|              | Decantação<br>Primária | Tratamento<br>Biológico | Decantação<br>Secundária -<br>Efluente |                          |
| 05:29        | -                      | -                       | -                                      | 4,1                      |
| 09:40        | 2,680                  | 3,650                   | 4,310                                  | -                        |
| 10:40        | 4,570                  | 3,700                   | 4,270                                  | -                        |
| 11:25        | -                      | -                       | -                                      | 0,3                      |
| 11:40        | 6,540                  | 4,090                   | 4,240                                  | -                        |
| 12:40        | 6,720                  | 4,720                   | 4,300                                  | -                        |
| 13:40        | 5,610                  | 4,910                   | 4,280                                  | -                        |
| 14:40        | 3,610                  | 4,880                   | 4,320                                  | -                        |
| 15:40        | 3,310                  | 4,680                   | 4,390                                  | -                        |
| 16:40        | 2,300                  | 4,400                   | 4,440                                  | -                        |
| 17:56        | -                      | -                       | -                                      | 3,7                      |
| 23:38        | -                      | -                       | -                                      | 0,5                      |

## 6.2. Cultivo das Espécies em Ambiente Controlado – Estufa

As plantas na estufa sofreram alterações ao longo da experiência, sendo possível observar pela Figura 16 o seu desenvolvimento a olho nu, verificando-se o crescimento de todas as espécies plantadas. O crescimento da relva é notório, sendo que no dia 22/05 ainda não tinha sido realizado o 1º corte da relva e, no dia 15/07 (apenas com um mês de diferença da 2ª amostragem, sensivelmente) a relva já se encontrava novamente alta, sobretudo nos vasos regados com ART e ARTMéd.



**Figura 16** - Desenvolvimento das espécies plantadas na estufa ao longo da experiência.

## 6.3. Caracterização das Águas Residuais Tratadas para Reutilização

Ao longo da experiência realizou-se a medição da salinidade (através da condutividade elétrica) da água residual tratada (proveniente da ETAR de Fernão Ferro) e da adição de NaCl em duas doses diferentes na ART. Os valores de salinidade da água da torneira variaram entre 0,293 e 0,307 mS/cm (valores obtidos em EPAL, 2019), da ART entre 0,977 e 1,060 mS/cm, da ARTMéd. entre 1,958 e 2,480 mS/cm e da ARTMáx. entre 3,960 e 4,490 mS/cm. Foram analisados também alguns parâmetros a ter em consideração aquando reutilização da água residual tratada, dados esses obtidos pelo laboratório da SIMARSUL, apresentados na Tabela 12 intervalos de valores, sendo que os boletins completos se encontram em Anexo – Figura A1 a A5.

**Tabela 12** - Parâmetros analisados pelo laboratório da SIMARSUL.

| <b>Parâmetro</b>      | <b>Intervalos de Valores (mg/L)</b> |
|-----------------------|-------------------------------------|
| SST                   | Entre 11 e 41                       |
| CQO                   | Entre 52 e 86                       |
| CBO <sub>5</sub> (20) | Entre <10 e 26                      |
| Nt                    | Entre 51 e 59                       |
| Pt                    | Entre 5,0 e 6,0                     |

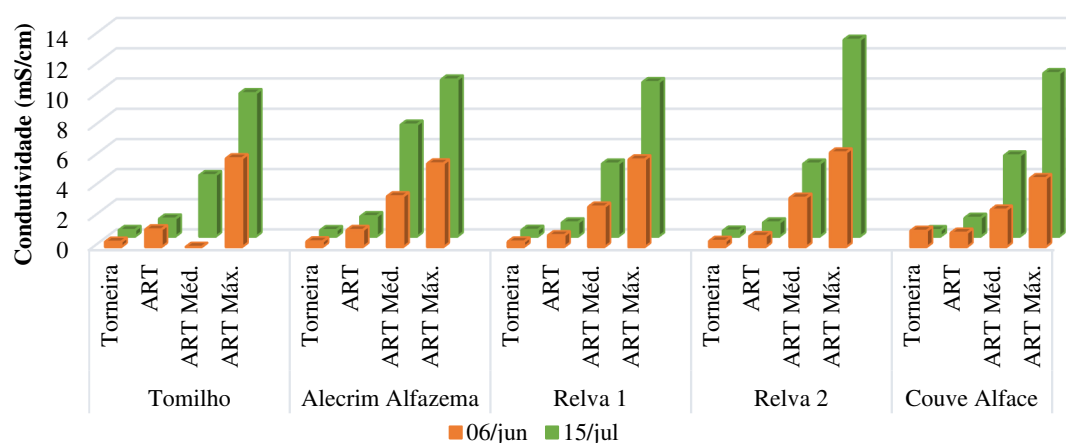
Realizou-se ainda, a medição dos parâmetros de pH e condutividade proveniente da medição das águas lixiviadas, encontrando-se na tabela abaixo (Tabela 13).

O pH sofreu diminuição nos vasos 1, 9 e 13 em que os solos foram regados com água da torneira, nos vasos 2 e 18 de ART, no vaso 19 de ARTMéd. e nos vasos 4, 8, 16 e 20 de ARTMáx. Enquanto que se verificou um aumento nos vasos 5 e 17 de água da torneira., nos vasos 6, 10 e 14 de ART, nos vasos 7, 11 e 15 de ARTMéd. e no vaso 12 de ARTMáx. Esta alteração de pH poderá ter sido devido à combinação entre a evaporação da água e a formação de algas nas garrafas. Estas medidas tem muitas limitações a nível de estudo devido ao crescimento de algas e de evaporação da água recolhida.

A condutividade sofreu aumento em todos os vasos à exceção do vaso nº 17 que foi regado com água da torneira, considerando-se um *outlier*, como é possível verificar-se na Figura 17. Estes resultados vão de encontro ao que era expectável, sendo que com a utilização contínua de água residual tratada que apresenta naturalmente níveis de salinidade maiores do que a água da torneira, promova a acumulação de saís nos solos, aumentando assim a condutividade dos mesmos ao longo do tempo, que serão arrastados pelo excesso de água, ficando assim presentes nas águas lixiviadas.

**Tabela 13** - Medição do pH e Condutividade das águas lixiviadas em dois tempos.

| Tipo de Planta   | Tipo de Água | Nº Vaso | 06/jun                                                            |                       | 15/jul |                       |
|------------------|--------------|---------|-------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|-----------------------|
|                  |              |         | pH                                                                | Condutividade (mS/cm) | pH     | Condutividade (mS/cm) |
| Tomilho          | Torneira     | 1       | 9,86                                                              | 0,343                 | 7,87   | 0,429                 |
|                  | ART          | 2       | 8,47                                                              | 1,165                 | 8,18   | 1,182                 |
|                  | ART Méd.     | 3       | Não estava a guardar a água lixiviada, o tubo encontrava-se solto |                       | 7,43   | 4,076                 |
|                  | ART Máx.     | 4       | 9,60                                                              | 5,880                 | 7,38   | 9,506                 |
| Alecrim Alfazema | Torneira     | 5       | 7,77                                                              | 0,360                 | 7,87   | 0,421                 |
|                  | ART          | 6       | 7,39                                                              | 1,120                 | 7,55   | 1,342                 |
|                  | ART Méd.     | 7       | 7,61                                                              | 3,360                 | 7,87   | 7,424                 |
|                  | ART Máx.     | 8       | 7,37                                                              | 5,540                 | 7,32   | 10,404                |
| Relva 1          | Torneira     | 9       | 6,85                                                              | 0,349                 | 6,71   | 0,437                 |
|                  | ART          | 10      | 7,38                                                              | 0,772                 | 7,60   | 0,927                 |
|                  | ART Méd.     | 11      | 7,00                                                              | 2,670                 | 7,48   | 4,840                 |
|                  | ART Máx.     | 12      | 7,10                                                              | 5,810                 | 7,40   | 10,234                |
| Relva 2          | Torneira     | 13      | 7,34                                                              | 0,390                 | 6,91   | 0,390                 |
|                  | ART          | 14      | 7,07                                                              | 0,709                 | 7,60   | 0,927                 |
|                  | ART Méd.     | 15      | 7,29                                                              | 3,260                 | 7,48   | 4,840                 |
|                  | ART Máx.     | 16      | 7,50                                                              | 6,270                 | 7,12   | 13,034                |
| Couve Alface     | Torneira     | 17      | 6,75                                                              | 1,069                 | 7,42   | 0,419                 |
|                  | ART          | 18      | 9,58                                                              | 0,935                 | 7,65   | 1,234                 |
|                  | ART Méd.     | 19      | 9,54                                                              | 2,470                 | 7,61   | 5,384                 |
|                  | ART Máx.     | 20      | 9,75                                                              | 4,560                 | 7,81   | 10,826                |


**Figura 17** - Medição da condutividade das águas lixiviadas em dois tempos.

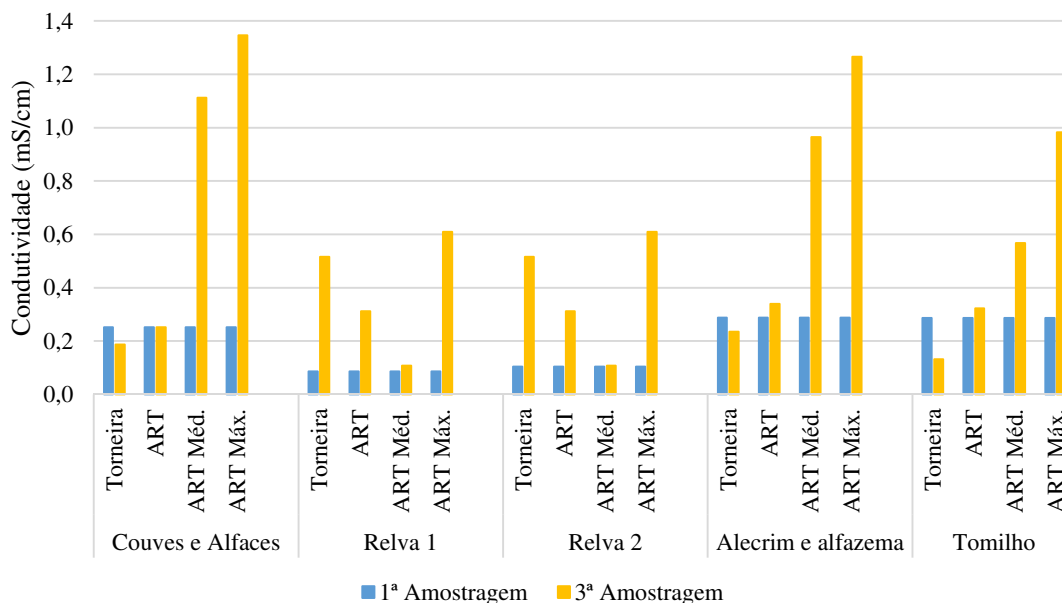
## 6.4. Caracterização dos Substratos

A rega por água residual tratada poderá levar ao aumento do nível de condutividade do solo, conforme indicam os resultados obtidos pelo estudo de Chen, Lu, Pan, Wang, & Wu (2015). No nosso estudo verificou-se o mesmo, destacando-se os valores obtidos para a ARTMéd e ARTMáx nos vasos com couves e alfaces, ARTMéd e ARTMáx nos vasos com alecrim e alfazema e ainda, ARTMáx no vaso com tomilho, como é possível observar na Tabela 14. Contudo, 3 valores da água da torneira não seguem os valores exetáveis, conforme apresentado na Figura 18. Independentemente destes resultados, é possível considerar-se que os solos ainda não são salinos, sendo que apresentam valores inferiores a 4 dS/m.

A percentagem de água nos solos apresenta dois padrões, ambos relacionados com a percentagem de água nas plantas. O primeiro padrão, considerando como sendo o comportamento expetável da planta no solo, leva a crer que estando as plantas com menor necessidade de absorver água do solo, esta água permaneça no solo, observável na Tabela 14 para as espécies de couves, alfaces, relva 1 e tomilho. O segundo padrão, para as espécies de relva 2, alfazema e alecrim, apresentam um comportamento diferente, embora a percentagem de água nos solos tenha diminuído ao longo das amostragens, como será possível ver no ponto 7.5., a percentagem de água nestas plantas também diminuiu ao longo das amostragens. Isto poderá significar que, a água não chegou a ser absorvida pelas plantas quando foram regadas e também não ficou retida nos solos, tendo sido provavelmente evaporada devido à temperatura ambiente na estufa (Figura 19).

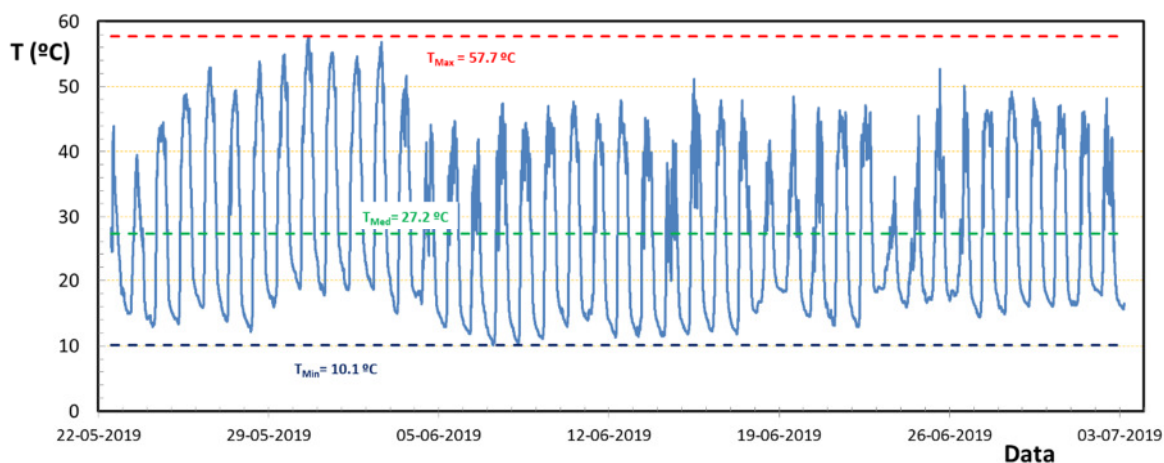
**Tabela 14** - Medição da percentagem de água e da condutividade nos solos.

| Tipo de planta      | Tipo de Água | % H2O       |             |             | Condutividade (mS/cm) |              |              |
|---------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|--------------|--------------|
|                     |              | 1ª Amost.   | 2ª Amost.   | 3ª Amost.   | 1ª Amost.             | 2ª Amost.    | 3ª Amost.    |
| Couves<br>Alfáces   | Torneira     | 11,6        | 4,5         | 21,3        | 0,253                 | 0,161        | 0,187        |
|                     | ART          | 11,6        | 4,1         | 10,5        | 0,253                 | 0,183        | 0,252        |
|                     | ARTMéd.      | 11,6        | 7,8         | 14,1        | <b>0,253</b>          | <b>0,474</b> | <b>1,112</b> |
|                     | ARTMáx.      | 11,6        | 16,5        | 21,1        | <b>0,253</b>          | <b>1,016</b> | <b>1,347</b> |
| Relva 1             | Torneira     | 14,4        | 1,0         | 14,8        | 0,086                 | 0,128        | 0,516        |
|                     | ART          | 14,4        | 9,0         | 9,7         | 0,086                 | 0,304        | 0,312        |
|                     | ART Méd.     | 14,4        | 12,2        | 17,2        | 0,086                 | 0,532        | 0,108        |
|                     | ART Máx.     | 14,4        | 8,8         | 13,9        | 0,086                 | 1,010        | 0,610        |
| Relva 2             | Torneira     | <b>34,2</b> | <b>32,5</b> | <b>26,3</b> | 0,104                 | 0,128        | 0,516        |
|                     | ART          | <b>34,2</b> | <b>33,8</b> | <b>23,0</b> | 0,104                 | 0,304        | 0,312        |
|                     | ART Méd.     | <b>34,2</b> | <b>31,4</b> | <b>18,9</b> | 0,104                 | 0,532        | 0,108        |
|                     | ART Máx.     | <b>34,2</b> | <b>30,4</b> | <b>27,0</b> | 0,104                 | 1,010        | 0,610        |
| Alecrim<br>Alfazema | Torneira     | <b>33,7</b> | <b>32,5</b> | <b>26,3</b> | 0,288                 | 0,214        | 0,235        |
|                     | ART          | <b>33,7</b> | <b>33,8</b> | <b>23,0</b> | 0,288                 | 0,219        | 0,340        |
|                     | ART Méd.     | <b>33,7</b> | <b>31,4</b> | <b>18,9</b> | <b>0,288</b>          | <b>0,484</b> | <b>0,965</b> |
|                     | ART Máx.     | <b>33,7</b> | <b>30,4</b> | <b>27,0</b> | <b>0,288</b>          | <b>0,634</b> | <b>1,266</b> |
| Tomilho             | Torneira     | 33,7        | 32,5        | 26,3        | 0,286                 | 0,230        | 0,132        |
|                     | ART          | 33,7        | 33,8        | 23,0        | 0,286                 | 0,381        | 0,323        |
|                     | ART Méd.     | 33,7        | 31,4        | 18,9        | 0,286                 | 0,577        | 0,567        |
|                     | ART Máx.     | 33,7        | 30,4        | 27,0        | <b>0,286</b>          | <b>0,956</b> | <b>0,983</b> |



**Figura 18** - Medição da condutividade nos solos - comparação entre 1ª e 3ª amostragem

A temperatura média verificada no interior da estufa foi de 27,2 °C, tendo-se verificado como temperatura máxima durante o dia 57,7 °C e temperatura mínima durante a noite 10,1 °C. Verificou-se ainda que, o período de maior temperatura foi entre o final de maio e início de junho, como é possível observar-se na Figura 19.

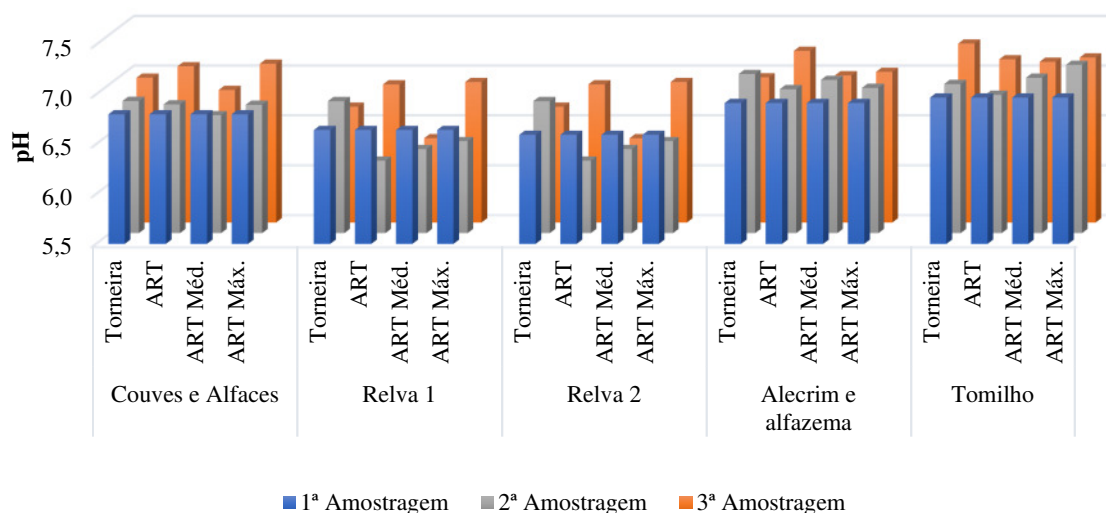


**Figura 19** - Temperatura verificada no interior da estufa.

Através da monitorização do pH nos solos, verificou-se apenas pequenas variações ao longo do tempo, não sendo muito significativas, observáveis na Tabela 15 e Figura 20.

**Tabela 15** - Medição do pH nos solos.

| Tipo de planta      | Tipo de Água | pH        |           |           |
|---------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|
|                     |              | 1ª Amost. | 2ª Amost. | 3ª Amost. |
| Couves<br>Alfaces   | Torneira     | 6,80      | 6,83      | 6,95      |
|                     | ART          | 6,80      | 6,79      | 7,07      |
|                     | ART Méd.     | 6,80      | 6,68      | 6,83      |
|                     | ART Máx.     | 6,80      | 6,79      | 7,09      |
| Relva 1             | Torneira     | 6,64      | 6,83      | 6,66      |
|                     | ART          | 6,64      | 6,23      | 6,89      |
|                     | ART Méd.     | 6,64      | 6,34      | 6,35      |
|                     | ART Máx.     | 6,64      | 6,42      | 6,91      |
| Relva 2             | Torneira     | 6,59      | 6,83      | 6,66      |
|                     | ART          | 6,59      | 6,23      | 6,89      |
|                     | ART Méd.     | 6,59      | 6,34      | 6,35      |
|                     | ART Máx.     | 6,59      | 6,42      | 6,91      |
| Alecrim<br>Alfazema | Torneira     | 6,91      | 7,10      | 6,96      |
|                     | ART          | 6,91      | 6,95      | 7,22      |
|                     | ART Méd.     | 6,91      | 7,04      | 6,98      |
|                     | ART Máx.     | 6,91      | 6,96      | 7,01      |
| Tomilho             | Torneira     | 6,97      | 7,00      | 7,30      |
|                     | ART          | 6,97      | 6,89      | 7,14      |
|                     | ART Méd.     | 6,97      | 7,06      | 7,11      |
|                     | ART Máx.     | 6,97      | 7,19      | 7,16      |



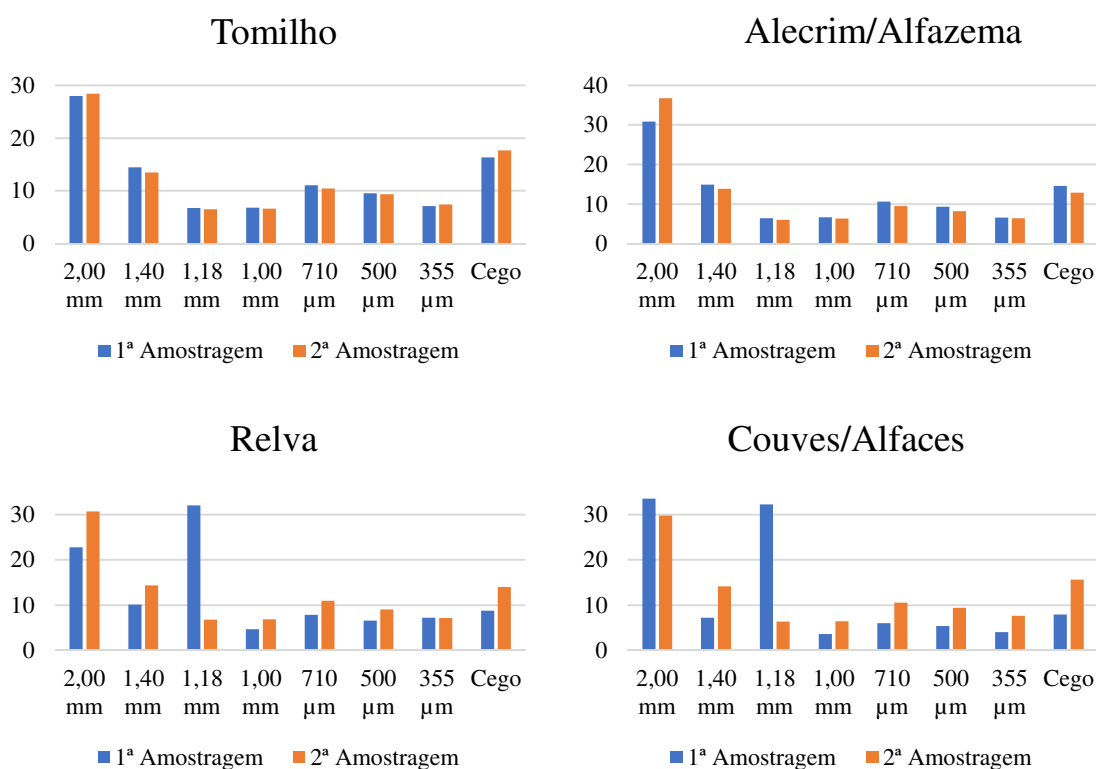
**Figura 20** - Medição do pH nos solos.

Relativamente à medição da matéria orgânica nos solos, os resultados não foram conclusivos. As amostras de solos recolhidas eram muito heterogéneas (Figura 21).



**Figura 21** - Representação da heterogeneidade das amostras nas cápsulas.

Os resultados obtidos da medição da granulometria nos solos demonstram que não houve grande alteração entre amostragens, como era esperado, sendo possível observar na Figura 22. Foram ainda considerados *outliers* os valores obtidos pelo peneiro de 1,18 mm para relva e couves/alfaces. É importante ter em consideração que foram utilizados dois tipos de substratos diferentes.



**Figura 22** - Medição da granulometria nos solos dos vasos regados com água da torneira.

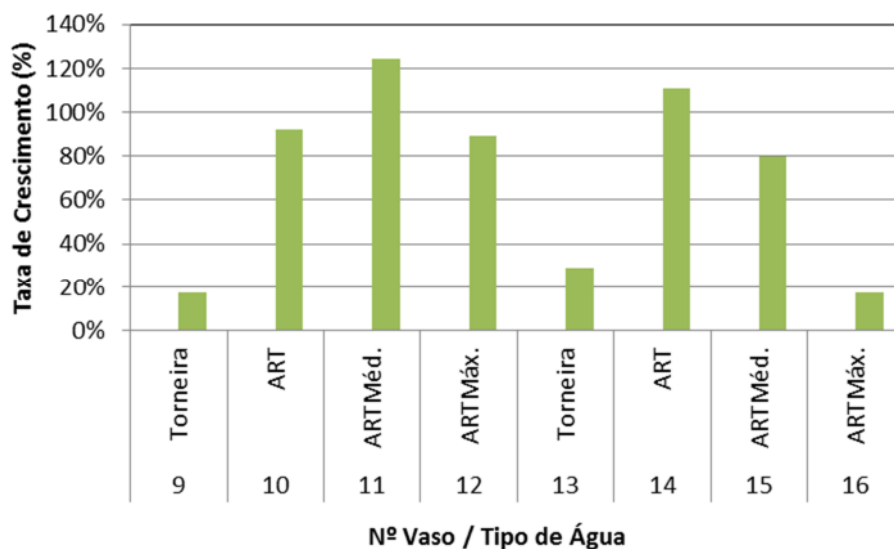
## 6.5. Caracterização das Espécies Plantadas

Para a análise dos resultados obtidos é importante ter em consideração que ao contrário da ART, a água da torneira não tem azoto e fósforo na sua composição. O crescimento da relva entre a 1<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> amostragem foi sempre positivo, sendo que a taxa de crescimento foi sempre maior nos vasos regados com ART e ARTMéd (observável na Tabela 16 e Figura 23), colocando-se a possibilidade de a composição destas águas serem as mais adequadas para este tipo de planta. Estes resultados demonstram o potencial claro que a reutilização das águas residuais tratadas tem na rega de campos de golfe, promovendo um crescimento rápido e saudável da relva, sem adição de fertilizantes artificiais.

**Tabela 16** - Crescimento da Relva.

| Nº Vaso | Tipo de Água | 11/jun                                                     | 15/jul | Taxa de         |
|---------|--------------|------------------------------------------------------------|--------|-----------------|
|         |              | Crescimento da Relva (cm)<br>(a partir do rebordo do vaso) |        | Crescimento (%) |
| 9       | Torneira     | 6                                                          | 7      | 17%             |
| 10      | ART          | 13                                                         | 25     | 92%             |
| 11      | ARTMéd.      | 8,5                                                        | 19     | 124%            |
| 12      | ARTMáx.      | 9                                                          | 17     | 89%             |
| 13      | Torneira     | 7                                                          | 9      | 29%             |
| 14      | ART          | 9                                                          | 19     | 111%            |
| 15      | ARTMéd.      | 10                                                         | 18     | 80%             |
| 16      | ARTMáx.      | 12                                                         | 14     | 17%             |

Relativamente à percentagem de água presente nas plantas, esta apresenta uma diminuição de todas as plantas.



**Figura 23** – Taxa de crescimento (%) da relva.

Em relação à medição da condutividade, o mesmo acontece nas couves, estando estes dois parâmetros relacionados, sendo que, ambos diminuíram (dados indicados a ↘ na Tabela 17). A explicação possível para este acontecimento poderá dever-se ao facto de, antes da 2ª amostragem, os vasos com couves/alfaces foram colocados fora da estufa porque as couves encontravam-se a murchar e, posteriormente, após recuperação e, devido à temperatura exterior ser mais baixa que a verificada dentro da estufa, as couves não tiveram necessidade de absorver tanta água, e/ou a absorção de água terá sido de água que foi diluída pela água da chuva, diminuindo a quantidade de sais existentes, levando a uma diminuição da percentagem de água e consequentemente, a uma diminuição da condutividade (é importante ter em consideração que as culturas hortícolas encontravam-se num estado mais envelhecido na altura da realização da 3ª amostragem). O que era esperado obter como resultados foi observável para o tomilho (com água da torneira, ART e ARTMéd), alecrim (todas as águas), relva (com água da torneira e ARTMáx.) e couve (apenas com água ARTMáx.), destacando-se com a indicação ↗. Nestas plantas verificou-se um aumento da condutividade da 2ª para a 3ª amostragem devido ao aumento da temperatura dentro da estufa (Figura 19) e fora dela, tendo sido aumentada a periodicidade de rega para garantirmos a sobrevivência de todas as plantas, embora não se tenha verificado a retenção da água no seu interior, levando indiretamente ao aumento da condutividade nas mesmas pela retenção de sais. A alface e a alface foram as plantas mais resistentes em relação a este parâmetro, tendo aumentado em todas as amostragens, levando a crer que foram as que reteram mais sais em relação às outras plantas, apesar destas serem menos tolerantes à salinidade, conforme resultados obtidos por Lamas (2012) e Grieve et al. (2012).

**Tabela 17** - Medição da percentagem de água e condutividade nas espécies de plantas plantadas.

| Tipo de Planta | Tipo de Água | % H <sub>2</sub> O    |                       |                       | Condutividade (mS/cm) |                       |                       |   |
|----------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|---|
|                |              | 1 <sup>a</sup> Amost. | 2 <sup>a</sup> Amost. | 3 <sup>a</sup> Amost. | 1 <sup>a</sup> Amost. | 2 <sup>a</sup> Amost. | 3 <sup>a</sup> Amost. |   |
| Tomilho        | Torneira     | 66,3                  | 53,3                  | 10,0                  | <b>2,01</b>           | <b>1,55</b>           | <b>1,76</b>           | ↷ |
|                | ART          | 66,3                  | 54,3                  | 11,5                  | <b>2,01</b>           | <b>1,72</b>           | <b>1,95</b>           | ↷ |
|                | ART Méd.     | 66,3                  | 61,2                  | 26,5                  | <b>2,01</b>           | <b>1,96</b>           | <b>3,10</b>           | ↷ |
|                | ART Máx.     | 66,3                  | 60,7                  | 40,2                  | 2,01                  | 2,40                  | 4,65                  |   |
| Alecrim        | Torneira     | 66,7                  | 80,2                  | 41,9                  | <b>2,01</b>           | <b>1,66</b>           | <b>1,93</b>           | ↷ |
|                | ART          | 66,7                  | 58,5                  | 27,5                  | <b>2,01</b>           | <b>1,62</b>           | <b>2,30</b>           | ↷ |
|                | ART Méd.     | 66,7                  | 58,8                  | 42,5                  | <b>2,01</b>           | <b>1,50</b>           | <b>2,22</b>           | ↷ |
|                | ART Máx.     | 66,7                  | 56,8                  | 43,5                  | <b>2,01</b>           | <b>1,75</b>           | <b>2,29</b>           | ↷ |
| Alfazema       | Torneira     | 63,4                  | 58,1                  | 21,0                  | 2,38                  | 2,55                  | 2,91                  |   |
|                | ART          | 63,4                  | 51,5                  | 33,7                  | 2,38                  | 2,40                  | 3,15                  |   |
|                | ART Méd.     | 63,4                  | 54,3                  | 30,9                  | 2,38                  | 2,81                  | 5,43                  |   |
|                | ART Máx.     | 63,4                  | 63,8                  | 17,2                  | 2,38                  | 3,48                  | 7,81                  |   |
| Relva          | Torneira     | 78,5                  | 73,3                  | 14,0                  | <b>3,08</b>           | <b>2,85</b>           | <b>3,14</b>           | ↷ |
|                | ART          | 78,5                  | 76,9                  | 31,7                  | 3,08                  | 3,12                  | 3,58                  |   |
|                | ART Méd.     | 78,5                  | 75,5                  | 35,4                  | 3,08                  | 3,09                  | 3,77                  |   |
|                | ART Máx.     | 78,5                  | 71,9                  | 33,8                  | <b>3,08</b>           | <b>2,92</b>           | <b>4,07</b>           | ↷ |
| Couve          | Torneira     | <b>88,8</b>           | <b>79,3</b>           | <b>4,9</b>            | <b>7,63</b>           | <b>2,56</b>           | <b>2,15</b>           | ↘ |
|                | ART          | <b>88,8</b>           | <b>82,4</b>           | <b>21,1</b>           | <b>7,63</b>           | <b>4,33</b>           | <b>3,63</b>           | ↘ |
|                | ART Méd.     | <b>88,8</b>           | <b>86,5</b>           | <b>40,0</b>           | <b>7,63</b>           | <b>5,89</b>           | <b>5,83</b>           | ↘ |
|                | ART Máx.     | 88,8                  | 85,3                  | 36,5                  | <b>7,63</b>           | <b>5,71</b>           | <b>6,52</b>           | ↷ |
| Alface         | Torneira     | 92,2                  | 87,6                  | -                     | 4,25                  | 4,61                  | 4,22                  |   |
|                | ART          | 92,2                  | 87,7                  | -                     | 4,25                  | 4,38                  | 5,68                  |   |
|                | ART Méd.     | 92,2                  | 89,5                  | -                     | 4,25                  | 7,86                  | 8,16                  |   |
|                | ART Máx.     | 92,2                  | 90,3                  | -                     | 4,25                  | 9,25                  | 10,07                 |   |

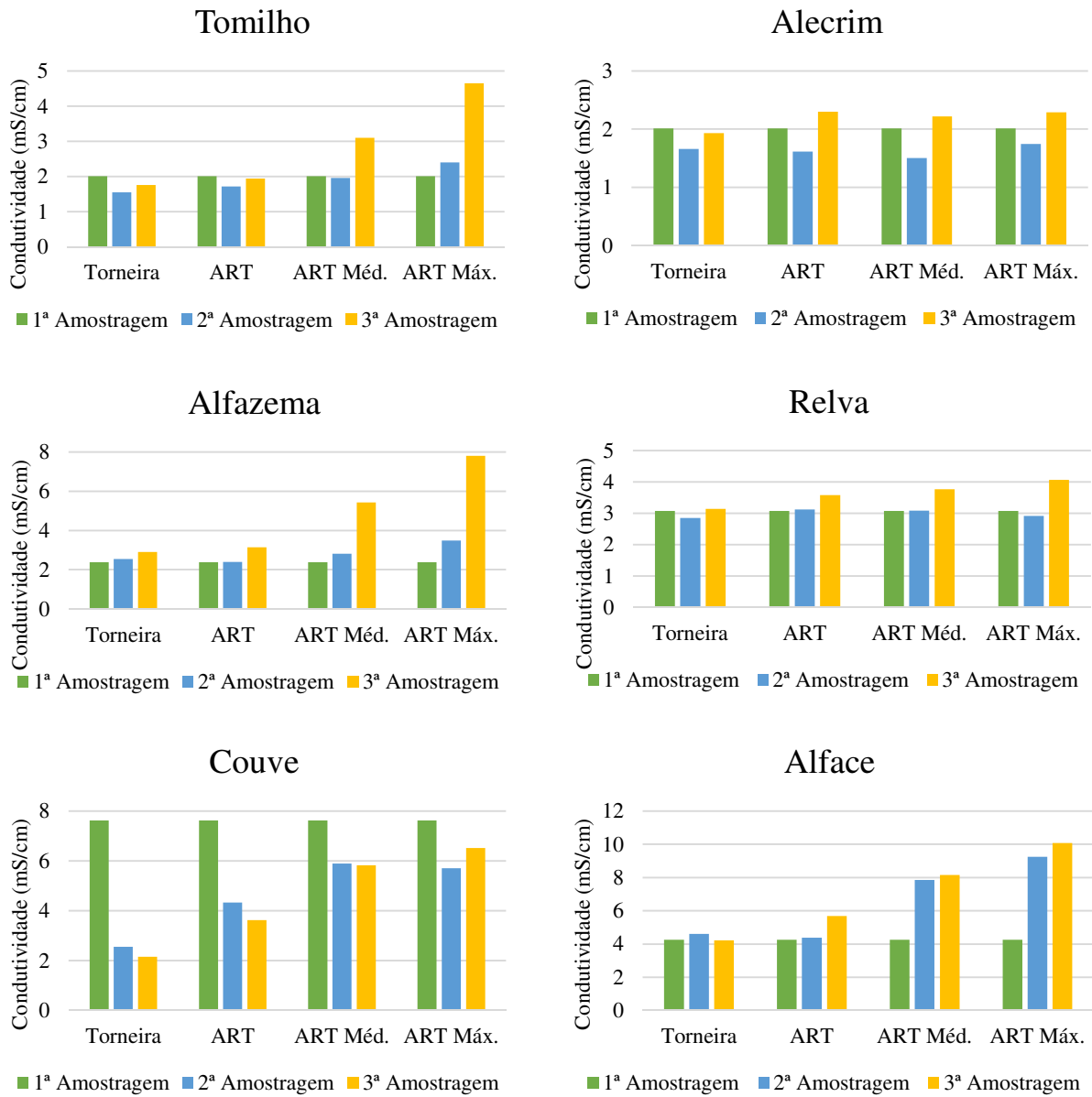


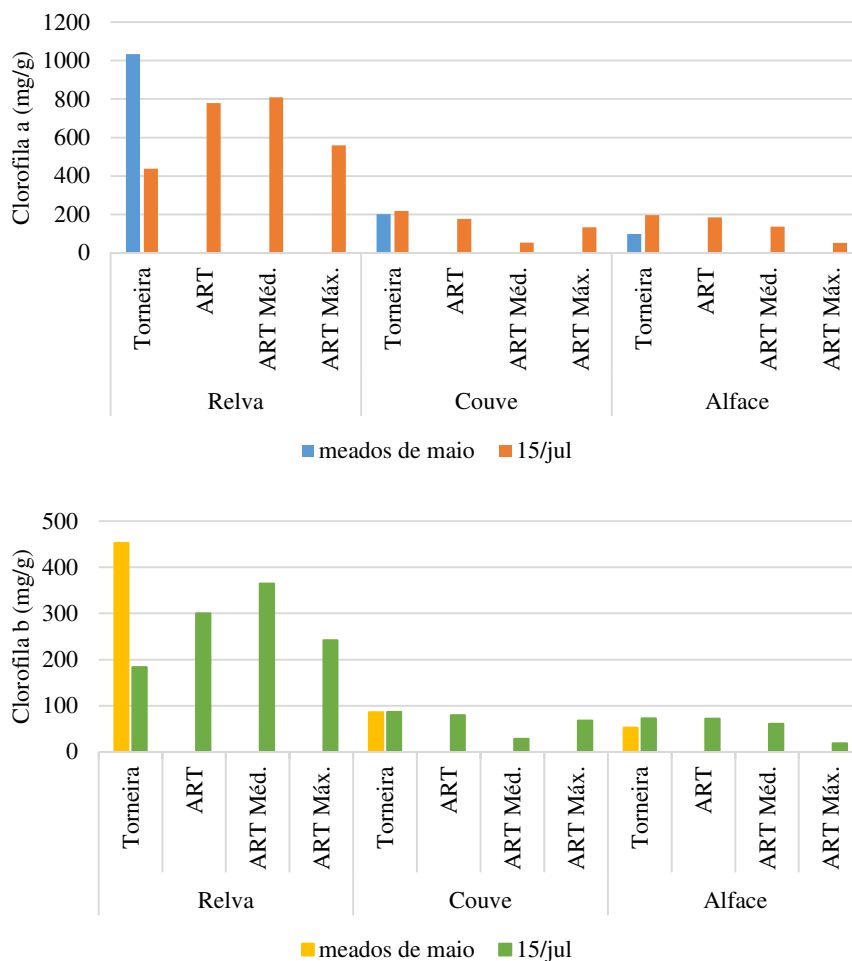
Figura 24 - Medição da condutividade ao longo das amostragens.

Os resultados da primeira fase da clorofila *a* e clorofila *b* foram obtidos num estudo acoplado a este projeto, realizado por Herenguel (2019).

Verificou-se um aumento da clorofila *a* e *b* de meados de maio para a 15/jul nas couves e alfaces irrigadas com água da torneira, representados na Tabela 18 e Figura 25. Segundo García-Caparrós & Lao (2018), as plantas apresentam um aumento na concentração de clorofila que poderá ser explicado pelo aumento do número de cloroplastos por unidade de área foliar nas folhas das plantas stressadas, quando estas se encontram sob stress salino. García-Caparrós & Lao (2018) apresenta também resultados de autores que registaram uma diminuição da concentração da clorofila em plantas ornamentais sob stress salino, sendo que este efeito negativo é resultado do amarelecimento das folhas que, por sua vez, afeta a aparência visual das mesmas levando a uma diminuição do seu valor de venda.

**Tabela 18** – Teor de clorofila *a* e *b* nas culturas hortícolas e relva em dois tempos.

| Tipo de Planta | Tipo de Água | meados de maio               |                              | 15/jul                       |                              |
|----------------|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
|                |              | Clorofila <i>a</i><br>(mg/g) | Clorofila <i>b</i><br>(mg/g) | Clorofila <i>a</i><br>(mg/g) | Clorofila <i>b</i><br>(mg/g) |
| Relva          | Torneira     | 1033,06                      | 452,75                       | 437,81                       | 183,51                       |
|                | ART          | -                            | -                            | 779,66                       | 300,13                       |
|                | ART Méd.     | -                            | -                            | 809,16                       | 364,90                       |
|                | ART Máx.     | 708,30                       | 271,00                       | 558,68                       | 241,80                       |
| Couve          | Torneira     | <b>201,12</b>                | <b>85,78</b>                 | <b>218,12</b>                | <b>86,75</b>                 |
|                | ART          | -                            | -                            | 176,34                       | 79,54                        |
|                | ART Méd.     | -                            | -                            | 52,82                        | 28,25                        |
|                | ART Máx.     | 172,10                       | 75,30                        | 132,76                       | 68,04                        |
| Alface         | Torneira     | <b>98,06</b>                 | <b>52,79</b>                 | <b>196,47</b>                | <b>73,00</b>                 |
|                | ART          | -                            | -                            | 184,36                       | 72,23                        |
|                | ART Méd.     | -                            | -                            | 135,74                       | 60,63                        |
|                | ART Máx.     | 81,00                        | 46,60                        | 52,18                        | 18,73                        |



**Figura 25** – Teor de clorofila *a* (em cima) e clorofila *b* (em baixo) nas culturas hortícolas e relva em dois tempos.

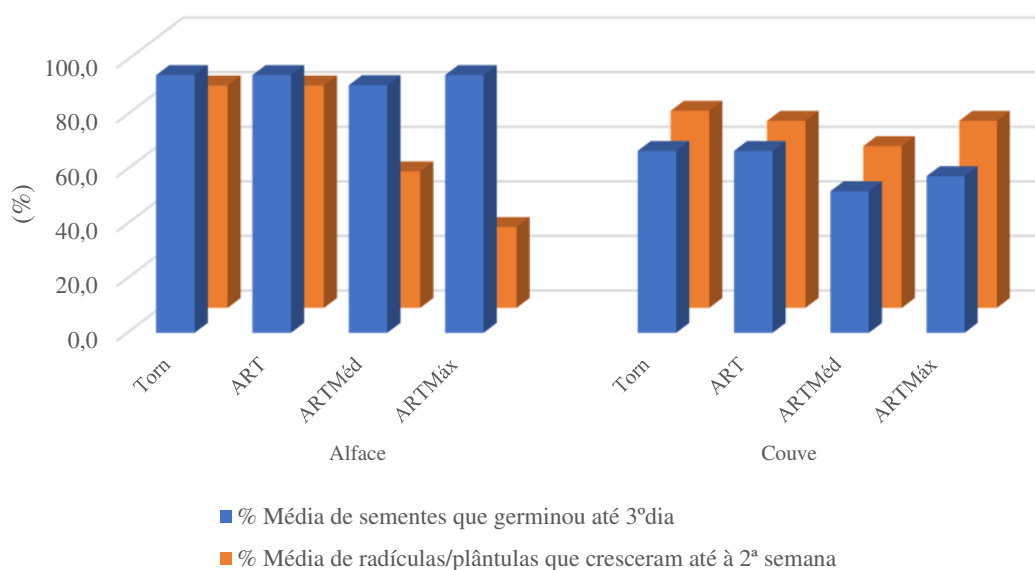
## 6.6. Avaliação da Germinação

Nos ensaios de germinação avaliou-se a percentagem média de sementes que germinou ao fim de 3 dias ( $n^\circ$  de sementes germinadas/ $n^\circ$  sementes inicial) e percentagem média radículas/plântulas que cresceram/desenvolveram ao fim de 2 semanas ( $(n^\circ$  de radículas/plântulas)/ $n^\circ$  de sementes iniciais), uma vez que houve sementes que germinaram mas que não cresceram. Considerou-se que as sementes germinaram quando foi possível observar a olho nu a radícula, considerou-se que cresceram quando a radícula aumentou de tamanho. Na Tabela 19 e na Figura 27 apresenta-se os resultados obtidos.

No final da 3ª semana, apenas as couves sobreviveram, independentemente do tipo de água com que foram irrigadas. Demonstra-se então que, as alfaces são mais sensíveis à salinidade do que as couves. Os resultados obtidos foram os esperados, com base noutro estudo realizado por Ribeiro, Eloi, Sales, Moreira, & Sales (2013).

**Tabela 19** - Resultados da sementeira até à 2ª semana de germinação.

| Amostra | Nº médio de sementes germinadas até 3º dia | % Média de sementes que germinou até 3º dia | Nº médio de radículas/plântulas que cresceram até à 2ª semana | % Média de radículas/plântulas que cresceram até à 2ª semana |      |
|---------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------|
| Alface  | Torn                                       | 25,5                                        | 94,4                                                          | 22                                                           | 81,5 |
|         | ART                                        | 25,5                                        | 94,4                                                          | 22                                                           | 81,5 |
|         | ARTMéd                                     | 24,5                                        | 90,7                                                          | 13,5                                                         | 50,0 |
|         | ARTMáx                                     | 25,5                                        | 94,4                                                          | 8,0                                                          | 29,6 |
| Couve   | Torn                                       | 18                                          | 66,7                                                          | 19,5                                                         | 72,2 |
|         | ART                                        | 18                                          | 66,7                                                          | 18,5                                                         | 68,5 |
|         | ARTMéd                                     | 14                                          | 51,9                                                          | 16,0                                                         | 59,3 |
|         | ARTMáx                                     | 15,5                                        | 57,4                                                          | 18,5,0                                                       | 68,5 |



**Figura 26** – Comparação entre a percentagem média de sementes que germinou ao fim de 3 dias e a percentagem média de radículas/plântulas que cresceram até à 2.ª semana

## 7. Conclusões

Com a realização deste trabalho avaliou-se a possibilidade de utilização de águas residuais tratadas com elevados teores de sal (NaCl) na rega de diversas espécies vegetais, nomeadamente hortícolas, relva e plantas aromáticas. A situação de aumento do teor em sal das águas residuais tratadas ocorre em muitas das ETAR costeiras em Portugal devido a intrusão salina nos sistemas de drenagem das águas residuais e nas ETAR.

O sul de Portugal tem registado um aumento considerável na área de implantação de culturas de regadio devido ao seu clima favorável. Também o aumento do turismo tem provocado a instalação de alguns campos de golfe que representam elevadas extensões de relva que necessita de ser regada. Este aumento do consumo de água a sul do país concorre para o gasto de um bem que poderá ser escasso no futuro, a água “doce”. Foi assim avaliado se as águas residuais tratadas produzidas pelas ETAR poderão ser utilizadas para a rega mesmo quando o seu teor de sal é elevado.

O procedimento experimental concebido permitiu constatar que a relva tolera as águas residuais tratadas até à salinidade média (ARTMéd, 2,00 mS/cm). A sua taxa de crescimento diminui para valores mais altos de salinidade mas também é menor quando se utiliza água da torneira. Estes resultados mostram a vantagem na utilização de águas residuais tratadas nas regas face a água potável, nomeadamente água para consumo humano. Tal vantagem deve-se ao conteúdo em nutrientes das águas residuais tratadas que evita também a utilização de suplementação nomeadamente na forma de adubos.

Relativamente às restantes espécies, a avaliação da sua taxa de crescimento é mais difícil devido ao ser crescimento natural não ser el altura como a relva. Quando se observam os dados de Clorofila (um indicador do stress das plantas) para as couves e alfaces constatamos que estatisticamente estas espécies se encontram com maiores níveis de stress a teores mais elevados de sal. A situação de maiores teores de clorofila é registada para a rega efetuada com água “da torneira”. A aferição da taxa de crescimento destas espécies implicaria a existência de uma maior número de exemplares de cada espécie de modo sacrificar algumas espécies no tempo para a determinação do seu aumento de peso. Na avaliação do teor de água presente em cada espécie constatamos que há uma diminuição deste parâmetro ao longo da evolução da experiência. Não se observa uma clara tendência entre os diversos tipos de água utilizada na rega e os diferentes teores de água nas diversas espécies. Também os teores intermédios (2ª Amostragem) e finais (3ª Amostragem) de salinidade dada pela medida da condutividade revelam um comportamento mais homogéneo para as plantas aromáticas face às restantes culturas. As plantas aromáticas apresentam um decréscimo de condutividades entre a 1ª

Amostragem e a 2ª Amostragem, voltando a condutividade a subir na 3ª Amostragem. Este é um comportamento verificado para o tomilho e alecrim. A alfazema apresenta comportamentos mais diversificados quando se analisa a evolução deste parâmetro ao longo das amostragens. De realçar que as plantas aromáticas serão também alvo de estudo a nível de produção de óleos essenciais e a sua variação com o teor de sal nas águas residuais usadas para rega. No entanto, e pela morosidade destas destilações, não foi possível a inclusão destes resultados no presente trabalho.

Na avaliação do efeito da salinidade na germinação das espécies hortícolas constatamos que a alface é bastante sensível ao teor de sal na água. Efetivamente as taxas de germinação diminuem claramente com o aumento de sal na água residual tratada usada para rega. Nas couves o efeito está presente mas é menos evidente. Estes resultados mostram que na fase inicial de germinação e crescimento as plantas são particularmente sensíveis ao teor de sal na água de rega. Relativamente às aromáticas, a alfazema e alface são as espécies mais sensíveis à salinidade, enquanto o tomilho, alecrim, relva e couves são mais tolerantes à salinidade, adaptando-se melhor à rega com água com algum teor de sal.

Relativamente ao tipo de solo e ao aumento da salinidade no mesmo constatou-se que para os vasos contendo couves e alfoces se registou um aumento da salinidade traduzida pela medição da condutividade dos solos sensivelmente e meio e no final do ensaio. Tal indica que estas espécies não absorvem o sal ficando este nos solos. O alecrim e a alfazema apresentam comportamentos semelhantes às alfoces e couves com um acréscimo de salinidade nos solos no final do ensaio. Para o Tomilho não se registou alterações da salinidade entre a medida final e a medida intermédia. Para relva verificou-se que a salinidade nos solos dos respetivos vasos aumentou na medida intermédia e diminuiu na medida final. Tal representa alguma capacidade de absorção do sal pela relva depois de uma fase de aclimação à água com alguma salinidade.

Tendo em conta que, uma grande percentagem de água “doce”, a nível mundial, é destinada para a rega de culturas agrícolas, a reutilização da água residual tratada será uma opção viável para contornar problemas de escassez de água. Trará também benefícios acrescidos para as culturas, conforme referido anteriormente, pelo facto destas águas terem azoto, fósforo, de matéria orgânica, excluindo a necessidade de adição de adubos sintéticos. Esta alternativa irá trazer ainda benefícios económicos a nível do pensamento ecológico ou “bio” que a sociedade está a adotar nos dias de hoje, promovendo assim a venda de produtos agrícolas com a minimização da adição de fertilizantes.

A reutilização de água residual é um tema muito interessante e importante a nível mundial, sendo que a exploração desse tema para futuros projetos será de extrema importância para a sustentabilidade das regiões com défice de água para rega. Será importante a replicação deste estudo envolvendo uma maior extensão de cultura e um maior número de cada espécie. Deste modo poderemos ter uma estatística mais sólida para a avaliação dos diversos efeitos estudados.

## 8. Referências Bibliográficas

- Abdoulkader, B. A., Mohamed, B., Nabil, M., Alaoui-Sossé, B., Eric, C., & Aleya, L. (2015). Wastewater use in agriculture in Djibouti: Effectiveness of sand filtration treatments and impact of wastewater irrigation on growth and yield of *Panicum maximum*. *Ecological Engineering*, *84*, 607–614. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.065>
- Acosta-Motos, J. R., Álvarez, S., Hernández, J. A., & Sánchez-Blanco, M. J. (2014). Irrigation of *Myrtus communis* plants with reclaimed water: Morphological and physiological responses to different levels of salinity. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *89*(5), 487–494. <https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513110>
- Acosta-Motos, J. R., Diaz-Vivancos, P., Álvarez, S., Fernández-García, N., Sánchez-Blanco, M. J., & Hernández, J. A. (2015). NaCl-induced physiological and biochemical adaptative mechanisms in the ornamental *Myrtus communis* L. plants. *Journal of Plant Physiology*, *183*, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.05.005>
- Acosta-Motos, J. R., Hernández, J. A., Álvarez, S., Barba-Espín, G., & Sánchez-Blanco, M. J. (2017). The long-term resistance mechanisms, critical irrigation threshold and relief capacity shown by *Eugenia myrtifolia* plants in response to saline reclaimed water. *Plant Physiology and Biochemistry*, *111*, 244–256. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2016.12.003>
- Acosta-Motos, J. R., Ortuño, F. M., Álvarez, S., López-Climent, M. F., Gómez-Cadenas, A., & Sánchez-Blanco, M. J. (2016). Changes in growth, physiological parameters and the hormonal status of *Myrtus communis* L. plants irrigated with water with different chemical compositions. *Journal of Plant Physiology*, *191*, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.11.010>
- ADCOESÃO. (23 de Junho de 2019). Agenda 2030 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Obtido de Agência para o Desenvolvimento e Coesão, I. P.: <https://www.adcoesao.pt/content/agenda-2030-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>
- ADCOESÃO. (23 de Junho de 2019). Aprovado o Plano de Ação para a Economia Circular em Portugal. Obtido de Agência para o Desenvolvimento e Coesão, I. P.: <https://www.adcoesao.pt/content/aprovado-o-plano-de-acao-para-economia-circular-em-portugal/>
- ADP (2019) *Relatório de sustentabilidade 2018*. Retrieved from [https://www.adp.pt/pt/comunicacao/publicacoes/downloads/pub\\_pdf26\\_pt.pdf](https://www.adp.pt/pt/comunicacao/publicacoes/downloads/pub_pdf26_pt.pdf)
- AEA. (2018). Utilização da água na Europa — A quantidade e a qualidade enfrentam grandes desafios. *Sinais 2018 - Água é Vida*. Retrieved from <https://www.eea.europa.eu/downloads/b6579437ddd143fc870cca140adb1eee/1550152923/utilizacao-da-agua-na-europa.pdf>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2015). *Plano Nacional da Água*. Retrieved from [http://www.apambiente.pt/\\_zdata/PoliticAs/Agua/PlaneamentoGestao/PNA/2015/PNA2015.pdf](http://www.apambiente.pt/_zdata/PoliticAs/Agua/PlaneamentoGestao/PNA/2015/PNA2015.pdf)
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2019). *Conferência “Água - Novas Abordagens.”* Retrieved from [https://apambiente.pt/\\_zdata/Apresentacoes/2019/Apresentacoes\\_ConfAguaNovasAbordagens\\_reduce.pdf](https://apambiente.pt/_zdata/Apresentacoes/2019/Apresentacoes_ConfAguaNovasAbordagens_reduce.pdf)
- Al-Jassim, N., Ansari, M. I., Harb, M., & Hong, P.-Y. (2015). Removal of bacterial contaminants and antibiotic resistance genes by conventional wastewater treatment processes in Saudi

- Arabia: Is the treated wastewater safe to reuse for agricultural irrigation? *Water Research*, 73, 277–290. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.01.036>
- Al-Mefleh, N. K., Abu Salah, K. K., & Abandeh, M. M. (2012). Influence of water quality and harvest times on biomass yield and essential oil of lemon verbena (*Aloysia triphylla*) under a drip irrigation system. *Journal of Herbs, Spices and Medicinal Plants*, 18(2), 166–177. <https://doi.org/10.1080/10496475.2011.653051>
- Alderson, M. P., dos Santos, A. B., & Mota Filho, C. R. (2015). Reliability analysis of low-cost, full-scale domestic wastewater treatment plants for reuse in aquaculture and agriculture. *Ecological Engineering*, 82, 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.04.081>
- Almeida, R. M. (2019). *Avaliação da utilização de águas residuais tratadas com elevada salinidade na rega de espécies vegetais*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Álvaro, J. E., Lao, M. T., Urrestarazu, M., Baghour, M., & Abdelmajid, M. (2016). Effect of nutrient solution salinity and ionic concentration on parsley (*Petroselinum crispum* Mill.) essential oil yield and content. *Journal of Plant Nutrition*, 39(8), 1057–1062. <https://doi.org/10.1080/01904167.2015.1061552>
- Amaro, C. P. T. de M. (2016). *Monitorização e simulação de afluências salinas a sistema de saneamento em zonas costeiras O Caso do Subsistema de Alcântara, em Lisboa*. Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Amini, F., Asghari, G. R., Talebi, S. M., Askary, M., & Shahbazi, M. (2016). Effect of environmental factors on the compounds of the essential oil of *Lippia citriodora*. *Biologija*, 62(3), 194–201. <https://doi.org/10.6001/biologija.v62i3.3372>
- Amorim, H., Valente-Neves, M., & Saldanha Matos, J. (2007). *AFLUÊNCIAS INDEVIDAS AOS SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS RESIDUAIS. 2.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente*. Retrieved from [https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA\\_2as/20\\_HAmorim.pdf](https://paginas.fe.up.pt/~shrha/publicacoes/pdf/JHRHA_2as/20_HAmorim.pdf)
- Angelakis, A. N., & Snyder, S. A. (2015). Wastewater treatment and reuse: Past, present, and future. *Water (Switzerland)*, 7(9), 4887–4895. <https://doi.org/10.3390/w7094887>
- Bixio et al (2008) Water reclamation and reuse: implementation and management issues. *Desalination*. 128 (1-3), 13-23. [doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.039](https://doi.org/10.1016/j.desal.2006.10.039)
- Badi, H. N., & Sorooshzadeh, A. (2010). Evaluating potential of Borage (*Borago officinalis* L.) in bioremediation of saline soil saffron production in vertical system View project Effects of auxin and copper on growth of saffron View project. *African Journal of Biotechnology*, 10(2), 146–153. <https://doi.org/10.5897/AJB10.179>
- Becerra-Castro, C., Lopes, A. R., Vaz-Moreira, I., Silva, E. F., Manaia, C. M., & Nunes, O. C. (2015). Wastewater reuse in irrigation: A microbiological perspective on implications in soil fertility and human and environmental health. *Environment International*, 75, 117–135. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2014.11.001>
- Borges, R. S., Ortiz, B. L. S., Pereira, A. C. M., Keita, H., & Carvalho, J. C. T. (2019). Rosmarinus officinalis essential oil: A review of its phytochemistry, anti-inflammatory activity, and mechanisms of action involved. *Journal of Ethnopharmacology*, 229, 29–45. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2018.09.038>
- Brito, A., Oliveira, J., & Peixoto, J. (2014). *Tratamento de Água para Consumo Humano e Uso Industrial - 2ª edição*. Engenho e Media.
- Brown, P. H., & Shelp, B. J. (1997). Boron mobility in plants. *Plant and Soil*, 193(1–2), 85–101.
- Bueno, M., Urrestarazu, M., Pilar Cordovilla, M., & Aparicio, C. (2014). Effects of salinity and the interaction between *Thymus Vulgaris* and *Lavandula Angustifolia* on growth, ethylene production and essential oils contents. *Journal of Plant Nutrition*, (April), 875–888. <https://doi.org/10.1080/01904167.2013.873462>
- Cassaniti, C., Leonardi, C., & Flowers, T. J. (2009). The effects of sodium chloride on ornamental shrubs. *Scientia Horticulturae*, 122(4), 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.06.032>

- CE. (2016). *EU-level instruments on water reuse Final report to support the Commission's Impact Assessment*. <https://doi.org/10.2779/974903>
- CE (2017) Characterization of unplanned water reuse in the EU - Final Report. Contract No. 070201/2017/758172/SER/EMV.C.1
- Chen, W., Lu, S., Pan, N., Wang, Y., & Wu, L. (2015). Impact of reclaimed water irrigation on soil health in urban green areas. *Chemosphere*, 119, 654–661. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.07.035>
- Chrysargyris, A., Michailidi, E., & Tzortzakis, N. (2018). Physiological and Biochemical Responses of *Lavandula angustifolia* to Salinity Under Mineral Foliar Application. *Frontiers in Plant Science*, 9(April), 1–23. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00489>
- Costa, J. (2011). Caracterização e Constituição do Solo - 6ª Edição. Serviço de Educação Fundação Calouste Gulbenkian.
- Cunha, A., Silva, A., Costa, M., Roque, O., Cunha, H., & Portugal, M. (2017). Manual de Plantas Mediciniais - Bases Farmacológicas e Clínicas. Dinalivro.
- Curtin, D., Steppuhn, H., & Selles, F. (1993). Plant responses to sulfate and chloride salinity: growth and ionic relations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1304–1310.
- Decreto Regulamentar n.º 23/1995. (s.d.). Decreto Regulamentar n.º 23/95. Diário da República n.º194/1995, Série I-B de 1995-08-23. Diário da República.
- Decreto-Lei n.º 119/2019. (s.d.). Decreto-Lei n.º 119/2019. Diário da República n.º 159/2019, Série I de 2019-08-21. Diário da República.
- Decreto-Lei n.º 152/97. (s.d.). Decreto-Lei n.º 152/97. Diário da República n.º 139/1997, Série I-A de 1997-06-19. Diário da República.
- Decreto-Lei n.º 236/98. (s.d.). Decreto-Lei n.º 236/98. Diário da República n.º 176/1998, Série I-A de 1998-08-01. Diário de República.
- Dehghani Bidgoli, R., Azarnezhad, N., Akhbari, M., & Ghorbani, M. (2019). Salinity stress and PGPR effects on essential oil changes in *Rosmarinus officinalis* L. *Agric & Food Secur*, 8(2), 7. <https://doi.org/10.1186/s40066-018-0246-5>
- Deza, A., & Martínez, A. (2010). The exciting challenge of water reuse in Madrid. In *Milestones in Water Reuse: The Best Success Stories* (pp. 107–116).
- Dias, N. da S., & Blanco, F. F. (2010). Efeitos dos sais no solo e na planta. In *Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados* (pp. 130–141). Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Salinidade.
- Eco.nomia. (23 de Junho de 2019). Economia Circular. Obtido de Eco.nomia: <https://eco.nomia.pt/pt/economia-circular/estrategias>
- EPAL. (27 de Agosto de 2019). Divulgação de dados da Qualidade da Água. Obtido de Empresa Portuguesa das Águas Livres, S. A. - Grupo Águas de Portugal: <https://www.epal.pt/EPAL/menu/%C3%A1gua/divulga%C3%A7%C3%A3o-de-dados-da-qualidade-da-%C3%A1gua>
- ERSAR. (08 de Setembro de 2019). Factos e Números. Obtido de Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos: <http://www.ersar.pt/pt/site-setor/site-factos-e-numeros#k=#s=7>
- EEA (2016) Is Europe's freshwater use sustainable? <https://www.eea.europa.eu/downloads/98ffc472a6d846d2b3eb8be4a223f941/1487600339/world-water-day-is-europe.pdf>.
- EU (2019) Water Scarcity & Droughts in the European Union. [https://ec.europa.eu/environment/water/quantity/scarcity\\_en.htm](https://ec.europa.eu/environment/water/quantity/scarcity_en.htm)
- Farhadkhani, M., Nikaeen, M., Yadegarfar, G., Hatamzadeh, M., Pourmohammadbagher, H., Sahbaei, Z., & Rahmani, H. R. (2018). Effects of irrigation with secondary treated wastewater on physicochemical and microbial properties of soil and produce safety in a semi-arid area. *Water Research*, 144, 356–364. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.07.047>

- Figueiredo, A. G. V. (2018). *Afluências indevidas de água salgada em ETAR. Medidas de quantificação e de minimização. Caso de Estudo ETAR do Barreiro / Moita*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Furlong, C., De Silva, S., Gan, K., Guthrie, L., & Considine, R. (2017). Risk management, financial evaluation and funding for wastewater and stormwater reuse projects. *Journal of Environmental Management*, 191, 83–95. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.007>
- García-Caparrós, P., & Lao, M. T. (2018). The effects of salt stress on ornamental plants and integrative cultivation practices. *Scientia Horticulturae*, 240(January), 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.022>
- García-Caparrós, P., Llanderal, A., Pestana, M., Correia, P. J., & Lao, M. T. (2016). Tolerance mechanisms of three potted ornamental plants grown under moderate salinity. *Scientia Horticulturae*, 201, 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.031>
- García-Caparrós, P., Llanderal, A., Pestana, M., Correia, P. J., & Lao, M. T. (2017). Lavandula multifida response to salinity: Growth, nutrient uptake, and physiological changes. *Zeitschrift Fur Pflanzenernahrung Und Bodenkunde*, 180(1), 96–104. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600062>
- Garcia-Cuerva, L., Berglund, E. Z., & Binder, A. R. (2016). Public perceptions of water shortages, conservation behaviors, and support for water reuse in the U.S. *Resources, Conservation and Recycling*, 113, 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.006>
- Grieve, C. M., Grattan, S. R., & Maas, E. V. (2012). Plant Salt Tolerance. In *Agricultural Salinity Assessment and Management* (pp. 405–459). American Society of Civil Engineers. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(00\)01838-0](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(00)01838-0)
- Guia para a Reutilização da Água para Usos Não Potáveis. (2019). Guia para a Reutilização da Água para Usos Não Potáveis. Agência Portuguesa do Ambiente.
- Helaly, M. N., Farouk, S., Arafa, S. A., & Amhimmid, N. B. I. A. (2018). Inducing Salinity Tolerance of Rosemary ( *Rosmarinus officinalis* L .) Plants by Chitosan or Zeolite Application. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*, 5(4), 1–20. <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2018/40051>
- Herenguel, R. (2019). *Internship presentation - Use of saline treated wastewater in plant's irrigation*.
- Hortas.Info. (02 de Julho de 2019). Como plantar alface. Obtido de Hortas.Info: <https://hortas.info/como-plantar-alface>
- Iglesias, R; Ortega E. Batanero G. Quintas L. (2010) Water reuse in Spain: Data overview and costs estimation of suitable treatment trains. *Desalination*, 263, 1-10. doi:10.1016/j.desal.2010.06.038
- Intriago, J. C., López-Gálvez, F., Allende, A., Vivaldi, G. A., Camposeo, S., Nicolás Nicolás, E., ... Pedrero Salcedo, F. (2018). Agricultural reuse of municipal wastewater through an integral water reclamation management. *Journal of Environmental Management*, 213, 135–141. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2018.02.011>
- IPMA. (27 de Novembro de 2019). Índice PDSI - Situação Atual - Novembro 2019. Obtido de Instituto Português do Mar e da Atmosfera: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/observatorio.secas/>
- ISO 10390. (2015). Soil quality - Determination of pH. Genebra.
- ISO 16075-1. (2015). Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects - Part 1: The basis of a reuse project for irrigation. Genebra.
- IWA (Israeli Water Authority), 2012 Long-term national master plan for the water sector: policy document. <http://www.water.gov.il/Hebrew/Planning-and-Development/Planning/MasterPlan/DocLib4/MasterPlan-en-v.4.pdf>
- Jeong, H., Kim, H., & Jang, T. (2016). Irrigation water quality standards for indirect wastewater reuse in agriculture: A contribution toward sustainable wastewater reuse in South Korea. *Water (Switzerland)*, 8(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/w8040169>

- Kamcev, J., Sujanani, R., Jang, E.-S., Yan, N., Moe, N., Paul, D. R., & Freeman, B. D. (2018). Salt concentration dependence of ionic conductivity in ion exchange membranes. *Journal of Membrane Science*, 547, 123–133. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2017.10.024>
- Kiarostami, K., Mohseni, R., & Saboora, A. (2010). Biochemical changes of *Rosmarinus officinalis* under salt stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 6(3), 114–122.
- Krishnapillai, M., & Ranjan, R. S. (2005). Evaluating the Phytoremediation potential of *Atriplex patula* on salt contaminated soil. *Csa/Scgr*, (05–052), 1–11. Retrieved from <http://www.csbe-scgab.ca/docs/meetings/2005/05-052.pdf>
- Kumar, V., Wani, S. H., Suprasanna, P., & Tran, L.-S. P. (2018). *Salinity Responses and Tolerance in Plants, Volume 2* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-75671-4>
- Kushiev, H., Noble, A. D., Abdullaev, I., & Toshbekov, U. (2005). Remediation of abandoned saline soils using *glycyrrhiza glabra*: A study from the hungry steppes of central Asia. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 3(2), 102–113. <https://doi.org/10.1080/14735903.2005.9684748>
- Lamas, M. B. da C. (2012). *Efeito da Exposição e Acumulação de Elementos Potencialmente Tóxicos e Salinidade em Alface (Lactuca sativa)*. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia.
- Lavrnić, S., Zapater-Pereyra, M., & Mancini, M. L. (2017). Water Scarcity and Wastewater Reuse Standards in Southern Europe: Focus on Agriculture. *Water Air Soil Pollut*, 228(251), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11270-017-3425-2>
- Licciardello, F., Milani, M., Consoli, S., Pappalardo, N., Barbagallo, S., & Cirelli, G. (2018). Wastewater tertiary treatment options to match reuse standards in agriculture. *Agricultural Water Management*, 210, 232–242. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.001>
- Lichtenthaler, H. K., & Buschmann, C. (2005). Chlorophylls and Carotenoids: Measurement And Characterization by UV-VIS Spectroscopy. *Handbook of Food Analytical Chemistry*, 2–2, 171–178. <https://doi.org/10.1002/0471709085.ch21>
- Lim, T. K. (2004). *Edible Medicinal and Non Medicinal Plants Volume 8, Flowers*. Springer (Vol. 36). <https://doi.org/10.1080/00222895.2004.11008007>
- Lubello, C., Gori, R., Nicese, F. P., & Ferrini, F. (2004). Municipal-treated wastewater reuse for plant nurseries irrigation. *Water Research*, 38(12), 2939–2947. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2004.03.037>
- Lyu, S., Chen, W., Zhang, W., Fan, Y., & Jiao, W. (2016). Wastewater reclamation and reuse in China: Opportunities and challenges. *Journal of Environmental Sciences*, 39, 86–96. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.11.012>
- Maas, E., & Hoffman, G. (1977). Crop Salt Tolerance-Current Assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 115-134.
- Mehrabani, L. V., Kamran, R. V., Hassanpouraghdam, M. B., & Pessarakli, M. (2017). Zinc Sulfate Foliar Application Effects on Some Physiological Characteristics and Phenolic and Essential Oil Contents of *Lavandula stoechas* L. Under Sodium Chloride (NaCl) Salinity Conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1860–1867. <https://doi.org/10.1080/00103624.2017.1406105>
- Metcalf & Eddy. (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery* (5<sup>o</sup> Edition). McGraw Hill Education.
- Monte, H. (2012) Os desafios da implementação de projetos de reutilização de águas em Portugal. Conclusões do workshop realizado em Évora
- Monte, H. M. do. (2009). Perspectivas de Desenvolvimento da reutilização de Águas Residuais em Portugal. *Indústria e Ambiente*, (Águas Residuais), 12–15. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/262001507>
- Monte, H. M. do, & Albuquerque, A. (2010). *Guia Técnico 14- Reutilização de águas residuais*. ERSAR. <https://doi.org/304814/10>

- Monte, H. M. do, Santos, M. T., Barreiros, A. M., & Albuquerque, A. (2016). *Curso Técnico 5 - Tratamento de águas residuais Operações e Processos de Tratamento Físico e Químico*. ERSAR.
- Morales, M. A., Ferrández, T., Alarcón, J. J., & Sánchez-Blanco, M. J. (2015). Effects of water and salt stresses on growth, water relations and gas exchange in *Rosmarinus officinalis*. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 845–853. <https://doi.org/10.1080/14620316.2006.11512148>
- Niu, G., & Rodriguez, D. S. (2006). Relative salt tolerance of selected herbaceous perennials and groundcovers. *Scientia Horticulturae*, 110(4), 352–358. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.07.020>
- Norton-Brandão, D., Scherrenberg, S. M., & Van Lier, J. B. (2013). Reclamation of used urban waters for irrigation purposes - A review of treatment technologies. *Journal of Environmental Management*, 122, 85–98. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.03.012>
- Nouri, H., Chavoshi, S., Nirola, R., Hassanli, A., Beecham, S., Alaghmand, S., ... Mulcahy, D. (2017). Application of green remediation on soil salinity treatment: A review on halophytoremediation. *Process Safety and Environmental Protection*, 107, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.01.021>
- Oliveira, I., & Varela, M. (2005). *A Qualidade da Água dos Pequenos Regadios Individuais do Alentejo*. Retrieved from [http://www.cotr.pt/docs/ICNRD/Papers/6.pdf?fbclid=IwAR3EuKwFG8on0rob6tF53L9ToC\\_Dt7fABr\\_ROpEoBKTUVU8kDOQKZx36GPvY](http://www.cotr.pt/docs/ICNRD/Papers/6.pdf?fbclid=IwAR3EuKwFG8on0rob6tF53L9ToC_Dt7fABr_ROpEoBKTUVU8kDOQKZx36GPvY)
- Ozturk, A., Unlukara, A., Ipek, A., & Gurbuz, B. (2004). Effects of salt stress and water deficit on plant growth and essential oil content of lemon balm (*Melissa officinalis* L.). *Pakistan Journal of Botany*, 36(4), 787–792.
- Paranychanakis, N. V., Salgot, M., Snyder, S. A., & Angelakis, A. N. (2015). Water Reuse in EU States: Necessity for Uniform Criteria to Mitigate Human and Environmental Risks. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45, 1409–1468. <https://doi.org/10.1080/10643389.2014.955629>
- PORDATA. (05 de Setembro de 2019). Obtido de Base de Dados Portugal Contemporâneo: [https://www.pordata.pt/Europa/Abastecimento+p%3%bablico+de+%c3%algua+para+o+sector+dom%3%a9stico+per+capita+\(1989+2012\)-1733](https://www.pordata.pt/Europa/Abastecimento+p%3%bablico+de+%c3%algua+para+o+sector+dom%3%a9stico+per+capita+(1989+2012)-1733)
- Portaria n.º 266/2019. (2019). Portaria n.º 266/2019. Diário da República n.º 162/2019, Série I de 2019-08-26. Diário da República.
- Póvoa, O., & Delgado, F. (2014). Guia para Produção de Plantas Aromáticas e Medicinais em Portugal Tipos e espécies de PAM. *Epam*. Retrieved from [http://epam.pt/wp-content/uploads/2015/06/Guia\\_epam\\_tipos-e-especies\\_mai2015.pdf](http://epam.pt/wp-content/uploads/2015/06/Guia_epam_tipos-e-especies_mai2015.pdf)
- Quist-Jensen, C. A., Macedonio, F., & Drioli, E. (2015). Membrane technology for water production in agriculture: Desalination and wastewater reuse. *Desalination*, 364, 17–32. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2015.03.001>
- RASARP. (2019). Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal. ERSAR.
- Reznik, A., Feinerman, E., Finkelshtain, I., Fisher, F., Huber-Lee, A., Joyce, B., & Kan, I. (2017). Economic implications of agricultural reuse of treated wastewater in Israel: A statewide long-term perspective. *Ecological Economics*, 135, 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.01.013>
- Ribeiro, A. de A., Eloi, W. M., Sales, M. A. de L., Moreira, F. J. C., & Sales, F. A. de L. (2013). Efeito da salinidade na germinação e no desenvolvimento inicial da erva-doce (*Foeniculum Vulgare* MILL.) Effect of salinity on seed germination and development of fennel (*Foeniculum*). *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 196–202.
- Santos, M. M. C. dos. (2008). *Reutilização de águas Residuais Urbanas Tratadas*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Retrieved from

- [https://run.unl.pt/bitstream/10362/1397/1/Santos\\_2008.pdf?fbclid=IwAR1yntJ5is12wZteCavhDA19b6F1SBXCeP19yaaGvKm-acPlcBXmucN6xEY](https://run.unl.pt/bitstream/10362/1397/1/Santos_2008.pdf?fbclid=IwAR1yntJ5is12wZteCavhDA19b6F1SBXCeP19yaaGvKm-acPlcBXmucN6xEY)
- Serrano, C. I. G. (2014). *Impactes da Presença de Água do Estuário do Rio Tejo em ETAR. Caso de Estudo - ETAR do Seixal*. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa.
- Shakir, E., Zahraw, Z., Hameed, A., & Al-Obaidy, M. J. (2017). Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26, 95–102. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003>
- Silva, H. F. F. A. da. (2015). *Avaliação integrada da poluição por metais tóxicos na cidade de Lisboa*. Avaliação integrada da poluição por metais tóxicos na cidade de Lisboa.
- SIMARSUL (2019) <https://www.simarsul.adp.pt/>
- SIMTEJO. (2010). *Saneamento Integrado dos Municípios do Tejo e Trancão, S. A. - Relatório e Contas 2010*. Retrieved from <http://www.sanest.pt/files/7214/3345/9987/SIMTEJO-2010.pdf>
- Souza, E. R. de, Freire, M. B. G. dos S., Duarte, H. H. F., & Freire, F. J. (2010). Removal of salts by *Atriplex nummularia* depending on soil moisture, 1(August), 121–123.
- SNWA (Singapore's National Water Agency) (2019) NEWater. <https://www.pub.gov.sg/watersupply/fournationaltaps/newater>
- Tátrai, Z. A., Sanoubar, R., Pluhár, Z., Mancarella, S., Orsini, F., & Gianquinto, G. (2016). Morphological and Physiological Plant Responses to Drought Stress in *Thymus citriodorus*. *International Journal of Agronomy*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/4165750>
- Tavares, A., Zuzarte, M., & Salgueiro, L. (2010). *Plantas Aromáticas e Medicinais - Escola Médica do Jardim Botânico da Universidade de Coimbra - 2ª edição*. Imprensa Universidade de Coimbra.
- Tounekti, T., Vadel, A. M., Oñate, M., Khemira, H., & Munné-Bosch, S. (2011). Salt-induced oxidative stress in rosemary plants: Damage or protection? *Environmental and Experimental Botany*, 71(2), 298–305. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.12.016>
- UN. (2015). The Human Right to Water and Sanitation Media brief. *UN-Water Decade Programme on Advocacy and Communication and Water Supply and Sanitation Collaborative Council*, (April 2011), 1–8. Retrieved from [http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human\\_right\\_to\\_water\\_and\\_sanitation\\_media\\_brief.pdf](http://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief.pdf)
- UNESCO. (2018). *The United Nations World Water Development Report 2018 - Nature-based Solutions for Water*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Retrieved from [www.unesco.org/open-access/](http://www.unesco.org/open-access/)
- Unión Mundial para la Naturaleza. (2007). *Fluxo - Elementos essenciais de fluxos ambientais*. Retrieved from [www.iucn.org/publications](http://www.iucn.org/publications)
- UNRIC. (23 de Junho de 2019). 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Obtido de Centro Regional de Informação das Nações Unidas: <https://www.unric.org/pt/17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentavel>
- Varenes, A. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Escolar Editora.
- Veolia (2018) Namibia: Windhoek has been producing drinking water from its wastewater for 50 years. <https://www.veolia.com/en/newsroom/news/drinking-water-recycling-wastewater-windhoek-namibia>
- Vickerman, D. B., Shannon, M. C., Bañuelos, G. S., Grieve, C. M., & Trumble, J. T. (2002). Evaluation of *Atriplex* lines for selenium accumulation, salt tolerance and suitability for a key agricultural insect pest. *Environmental Pollution*, 120(2), 463–473. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(02\)00116-1](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(02)00116-1)
- Villarino, G. H., & Mattson, N. S. (2011). Assessing tolerance to sodium chloride salinity in fourteen floriculture species. *HortTechnology*, 21(5), 539–545. <https://doi.org/10.21273/horttech.21.5.539>

- Warne, P., Guy, R. D., Rollins, L., & Reid, D. M. (1990). The effects of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis, and water use efficiency of *Chenopodium rubrum*. *Canadian Journal of Botany*, 68(5), 999–1006. <https://doi.org/10.1139/b90-126>
- Wilcox, L.V. (1955) Classification and Use of Irrigation Waters. US Department of agriculture.
- WRE. (2018). *Water Reuse Europe Review 2018*.
- Zerai, D. B. (2007). Halophytes for bioremediation of salt affected lands. *ProQuest Dissertations and Theses*, 101. Retrieved from <http://biblioteca.uprag.edu:2048/login?url=http://136.145.068.118:2048/login?url?url=https://search.proquest.com/docview/304894937?accountid=44848>
- Zollinger, N., Koenig, R., Cerny-Koenig, T., & Kjelgren, R. (2007). Relative salinity tolerance of intermountain western United States native herbaceous perennials. *HortScience*, 42(3), 529–534. <https://doi.org/10.21273/hortsci.42.3.529>

## **9. Anexos**

**Tabela A 1** - Normas de qualidade de água para reutilização para rega.

| Classe de Qualidade                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | CBO <sub>5</sub><br>(mg/L<br>O <sub>2</sub> ) | SST<br>(mg/L) | Turvação<br>(NTU) | <i>E. coli</i><br>(ufc/100<br>mL) | Ovos de<br>Parasitas<br>Intestinais<br>(Nº/L) <sup>(1)</sup> | NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> <sup>(2)</sup><br>(mg<br>NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L) | Nt<br><sup>(2)</sup><br>(mg<br>N/L) | Pt<br><sup>(2)</sup><br>(mg<br>P/L) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|-------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <u>A - Rega sem restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas):</u> 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.                                                                                                                                                                                                                                                                            | ≤10                                           | ≤10           | ≤5                | ≤10                               |                                                              |                                                                                        |                                     |                                     |
| <u>B - Rega com restrição de acesso (usos urbanos e agrícolas):</u> 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 (p.e. campos de golfe). | ≤25                                           | ≤35           |                   | ≤100                              |                                                              |                                                                                        |                                     |                                     |
| <u>C - Rega com restrição de acesso (usos agrícolas):</u> 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.                                                                                                                   | ≤25                                           | ≤35           |                   | ≤1000                             | ≤1                                                           | 10                                                                                     | 15                                  | 5                                   |
| <u>D - Rega com restrição de acesso (usos agrícolas):</u> produção de sementes, incluindo sementes para uso industrial ou produção de energia.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ≤25                                           | ≤35           |                   | ≤10000                            | ≤1                                                           |                                                                                        |                                     |                                     |
| <u>E <sup>(3)</sup> - Rega com restrição de acesso (usos agrícolas):</u> produção de sementes; rega de áreas de uso naturalmente restrito (p.e., sebes, áreas de contenção (prados em socacos).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ≤40                                           | ≤60           |                   | ≤10000                            |                                                              |                                                                                        |                                     |                                     |

<sup>(1)</sup> Aplicável na rega de culturas agrícolas destinadas ao consumo animal.

<sup>(2)</sup> Parâmetro facultativo. Poderá ser aplicável em alguns projetos de rega para minimização dos riscos de formação de biofilme e obstrução dos sistemas de rega.

<sup>(3)</sup> Só aplicável a sistemas descentralizados ou descentralizados em simbiose.

(Fonte: Decreto-Lei n.º 119/2019)

**Tabela A 2** - Normas de qualidade de água para reutilização para rega para proteção das culturas agrícolas, florestais e solo.

| <b>Parâmetro</b> | <b>Norma de Qualidade</b>                         | <b>Unidade</b> |
|------------------|---------------------------------------------------|----------------|
| Alumínio         | 5,0                                               |                |
| Berílio          | 0,1                                               |                |
| Cobalto          | 0,05                                              |                |
| Fluoretos        | 2,0                                               |                |
| Lítio            | 2,0                                               | mg/L           |
| Manganês         | 0,2                                               |                |
| Molibdénio       | 0,01                                              |                |
| Selénio          | 0,02                                              |                |
| Vanádio          | 0,1                                               |                |
| SAR              |                                                   |                |
| Salinidade       | Variável em função da sensibilidade das culturas. |                |
| Boro             |                                                   |                |

(Fonte: Decreto-Lei n.º 119/2019)

**Tabela A 3 - Normas de qualidade de água para usos urbanos e paisagísticos (fora do contexto urbano).**

| Parâmetro                                  | Suporte de ecossistemas <sup>(1)</sup>                                                     | Usos recreativos, de enquadramento paisagístico | Lavagem de ruas <sup>(2)</sup> | Água de combate a incêndios <sup>(3)</sup> | Águas de arrefecimento          | Autoclismos <sup>(3)</sup> | Lavagem de veículos <sup>(2)(4)</sup> |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| pH                                         |                                                                                            | 6,0 a 9,0                                       | 6,0 a 9,0                      | 6,0 a 9,0                                  | 6,5 a 8,5 <sup>(5)</sup>        | 6,0 a 9,0                  | 6,0 a 9,0                             |
| CBO <sub>5</sub><br>(mg/L O <sub>2</sub> ) |                                                                                            | ≤25                                             | ≤25                            | ≤25                                        | ≤25                             | ≤25                        |                                       |
| Turvação<br>(NTU)                          | A determinar caso-a-caso em função do estado ecológico e respetivos parâmetros de suporte. | ≤5                                              |                                |                                            | ≤5<br>≤1 (na presença de cobre) | ≤10                        |                                       |
| NH <sub>4</sub><br>(mg/L NH <sub>4</sub> ) |                                                                                            | ≤2 <sup>(6)</sup>                               |                                |                                            |                                 |                            |                                       |
| <i>E. coli</i><br>(ufc/100 mL)             |                                                                                            | ≤10                                             |                                | ≤10                                        | ≤200                            | ≤10                        | ≤10                                   |
| Nível de Tratamento                        | Secundário ou mais avançado que secundário.                                                |                                                 |                                | Mais avançado que secundário.              |                                 |                            |                                       |

<sup>(1)</sup> Depende do estado da massa de água e respetiva classificação no âmbito do Decreto-Lei n.º 152/97, de 19 de junho, com as alterações que lhe foram dadas pelos Decretos-Leis n.ºs 348/98, de 9 de novembro, 149/2004, de 22 de junho, 198/2008, de 8 de outubro e 133/2015, de 13 de julho.

<sup>(2)</sup> 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.

<sup>(3)</sup> 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.

<sup>(4)</sup> 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.

<sup>(5)</sup> Pode ocorrer crescimento microbiano a valores superiores ou inferiores a esta gama de pH.

<sup>(6)</sup> Quando utilizado em locais sujeitos à ocorrência de eutrofização (e.g., lagos urbanos, fontes).

(Fonte: Decreto-Lei n.º 119/2019)

**Tabela A 4** - Normas de qualidade de água para reutilização em uso industrial (proteção para contacto humano).

| Classe de Qualidade                                                                       | Turvação | <i>E. coli</i> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------|
|                                                                                           | (NTU)    | (ufc/100 mL)   |
| Em circuitos com risco direto de ingestão (incluindo ingestão acidental, p.e., gotículas) | ≤5       | ≤10            |
| Em circuitos com risco direto de contacto dérmico                                         |          | ≤1000          |

(Fonte: Decreto-Lei n.º 119/2019)

**Tabela A 5** - Requisitos para as descargas das estações de tratamento de águas residuais (Chipre).

| Parâmetro                           | Expressão dos Resultados | Valor Máximo Admissível (VMA) |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| CBO <sub>5</sub>                    | mg/L                     | 10                            |
| CQO                                 | mg/L                     | 70                            |
| Sólidos Suspensos (SS)              | mg/L                     | 10                            |
| EC                                  | µS/cm                    | 2200                          |
| Azoto Total (N <sub>Total</sub> )   | mg/L                     | 15                            |
| Fósforo Total (P <sub>Total</sub> ) | mg/L                     | 10                            |
| Cloretos (Cl)                       | mg/L                     | 300                           |
| Gorduras e Óleos                    | mg/L                     | 5                             |
| Zinco (Zn)                          | mg/L                     | 1                             |
| Cobre (Cu)                          | mg/L                     | 0,1                           |
| Chumbo (Pb)                         | mg/L                     | 0,15                          |
| Cádmio (Cd)                         | mg/L                     | 0,01                          |
| Mercúrio (Hg)                       | mg/L                     | 0,005                         |
| Crómio (Cr)                         | mg/L                     | 0,2                           |
| Níquel (Ni)                         | mg/L                     | 0,2                           |
| Boro (B)                            | mg/L                     | 1                             |
| <i>E. Coli</i>                      | ufc/100 mL               | 5                             |
| Ovos de Parasitas Intestinais       | Nº/L                     | -                             |
| Cloro Residual                      | mg/L                     | 1                             |
| pH                                  |                          | 6,8 – 8,5                     |

(Adaptado de CE, 2016)

**Tabela A 6** - Parâmetros de qualidade de água para reutilização da água residual tratada para rega (Chipre).

| Categorias de Rega                                | CBO <sub>5</sub><br>(mg/L) | CQO<br>(mg/L) | SS<br>(mg/L) | Gorduras e Óleos<br>(mg/L) | <i>E. coli</i><br>(ufc/100 mL) | pH        | EC<br>(µS/cm) | Cloretos<br>(mg/L) | Boro<br>(mg/L) | Cloro Residual<br>(mg/L) |
|---------------------------------------------------|----------------------------|---------------|--------------|----------------------------|--------------------------------|-----------|---------------|--------------------|----------------|--------------------------|
| Todos os cultivos e áreas verdes com uso restrito | 10                         | 70            | 10           | 5                          | 5                              | 6.5 – 8.5 | 2500          | 300                | 1              | 2                        |
| Áreas Verdes e Legumes Cozinhados                 | 10                         | 70            | 10           | 5                          | 50                             | 6.5 – 8.5 | 2500          | 300                | 1              | 2                        |
| Áreas Verdes com Uso Restrito pelo Público        | 25                         | 125           | 30           | 5                          | 200                            | 6.5 – 8.5 | 2500          | 300                | 1              | 2                        |
| Cultivos para Animais                             | 25                         | 125           | 30           | 5                          | 200                            | 6.5 – 8.5 | 2500          | 300                | 1              | 2                        |
| Cultivos Industriais                              | 25                         | 125           | 30           | 5                          | 200                            | 6.5 – 8.5 | 2500          | 300                | 1              | 2                        |

(Adaptado de CE, 2016)

**Tabela A 7** - Tipo de uso a dar à água residual tratada consoante o seu nível de qualidade (França).

| Tipo de Uso                                                                                              | Níveis de Qualidade Sanitária de Água Reutilizada |   |   |   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|---|---|---|
|                                                                                                          | A                                                 | B | C | D |
| Culturas de frutas e hortaliças não transformadas por tratamento térmico industrial (comidas cruas)      | +                                                 | - | - | - |
| Aquacultura, culturas fruteiras e culturas hortícolas transformadas por um tratamento térmico industrial | +                                                 | + | - | - |
| Pastos                                                                                                   | +                                                 | + | - | - |
| Espaços verdes e florestas abertas ao público                                                            | +                                                 | - | - | - |
| Flores vendidas arranjadas                                                                               | +                                                 | + | - | - |
| Outras Flores                                                                                            | +                                                 | + | + | - |
| Viveiros e Arbustos                                                                                      | +                                                 | + | + | - |
| Outras culturas forrageiras e de cereais                                                                 | +                                                 | + | + | - |
| Produção de Frutos                                                                                       | +                                                 | + | + | - |
| Exploração florestal com acesso público limitado                                                         | +                                                 | + | + | + |

+: Permitido; -: Proibido

(Adaptado de CE, 2016)

**Tabela A 8** - Normas de qualidade da água para reutilização (Itália).

| Parâmetro                           | Expressão dos Resultados | Valor Máximo Admissível (VMA) |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| pH                                  |                          | 6 – 9,5                       |
| SAR                                 |                          | 10                            |
| SST                                 | mg/L                     | 10                            |
| CBO <sub>5</sub>                    | mg/L                     | 20                            |
| CQO                                 | mg/L                     | 100                           |
| Fósforo Total (P <sub>Total</sub> ) | mg/L                     | 2                             |
| Azoto Total (N <sub>Total</sub> )   | mg/L                     | 15                            |
| NH <sub>4</sub>                     | mg/L                     | 2                             |
| EC                                  | μS/cm                    | 3000                          |
| Al                                  | mg/L                     | 1                             |
| As                                  | mg/L                     | 0,02                          |
| Ba                                  | mg/L                     | 10                            |
| Be                                  | mg/L                     | 0,1                           |
| Cd                                  | mg/L                     | 0,005                         |
| Co                                  | mg/L                     | 0,05                          |
| Cr Total                            | mg/L                     | 0,1                           |
| Cr VL                               | mg/L                     | 0,005                         |
| Fe                                  | mg/L                     | 2                             |
| Mn                                  | mg/L                     | 0,2                           |
| Hg                                  | mg/L                     | 0,001                         |
| Ni                                  | mg/L                     | 0,2                           |
| Pb                                  | mg/L                     | 0,1                           |
| Cu                                  | mg/L                     | 1                             |
| Se                                  | mg/L                     | 0,01                          |
| Sn                                  | mg/L                     | 3                             |

(Adaptado de CE, 2016)

|                                     |                              |
|-------------------------------------|------------------------------|
| Infraestrutura: ETAR Fernão Ferro   |                              |
| Ponto de amostragem: Efluente final | Amostra: FFR-EFN-192-19      |
| Tipo de amostra: Composta           | Receção da amostra: 29-05-19 |
| Início da análise: 29-05-2019       | Fim da análise: 02-06-2019   |

| Parâmetro             | Método                                        | Resultado | Unidade                                            |
|-----------------------|-----------------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------|
| SST                   | Gravimétrico<br>(MI OPR-LAB-IT001)            | 41        | LD= 6<br>LQ= 10<br>U= 13%<br>mg/L                  |
| CQO                   | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT003) | 86        | LD= 14<br>LQ= 25<br>U= 10%<br>mg O <sub>2</sub> /L |
| CBO <sub>5</sub> (20) | Manométrico<br>(MI OPR-LAB-IT015)             | 26        | LD= 4<br>LQ=10<br>U= 20%<br>mg O <sub>2</sub> /L   |
| Nt                    | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT005) | 53        | LD= 6<br>LQ=9<br>U= 18%<br>mg N/L                  |
| Pt                    | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT004) | 5,0       | LD= 1,3<br>LQ=2<br>U= 12%<br>mg P/L                |

MI – Método Interno (LQ) – Limite de Quantificação

Responsável do LAB:

*Ola Penedes*

Data: 12-06-2019

DOP-LAB-IP012


Página 1 de 1

**FFigura A 1** - Boletim analítico de 29/05/2019 referente à água residual tratada fornecida pela SSIMARSUL de Fernão Ferro.


| SIMARSUL<br>Grupo Águas de Portugal                                                                                                    |                                               | BOLETIM ANALÍTICO |                            | Nº: FFR-228-19       |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|--|
| Infraestrutura: ETAR Fernão Ferro<br>Ponto de amostragem: Efluente final<br>Tipo de amostra: Composta<br>Início da análise: 12-06-2019 |                                               |                   |                            |                      |  |
| Amostra: FFR-EFN-192-19<br>Receção da amostra: 12-06-19<br>Fim da análise: 18-06-2019                                                  |                                               |                   |                            |                      |  |
| Parâmetro                                                                                                                              | Método                                        | Resultado         |                            | Unidade              |  |
| SST                                                                                                                                    | Gravimétrico<br>(MI OPR-LAB-IT001)            | 17                | LD= 6<br>LQ= 10<br>U= 13%  | mg/L                 |  |
| CQO                                                                                                                                    | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT003) | 52                | LD= 14<br>LQ= 25<br>U= 10% | mg O <sub>2</sub> /L |  |
| CBO <sub>5</sub> (20)                                                                                                                  | Manométrico<br>(MI OPR-LAB-IT015)             | 16                | LD= 4<br>LQ=10<br>U= 20%   | mg O <sub>2</sub> /L |  |
| Nt                                                                                                                                     | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT005) | 59                | LD= 6<br>LQ=9<br>U= 18%    | mg N/L               |  |
| Pt                                                                                                                                     | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT004) | 5,0               | LD= 1,3<br>LQ=2<br>U= 12%  | mg P/L               |  |

MI – Método Interno (LQ) – Limite de Quantificação

---

|                     |                                                                                     |                  |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Responsável do LAB: |  | Data: 24-06-2019 |
| DOP-LAB-IP012       |                                                                                     | Página 1 de 1    |

**Figura A 2** - Boletim analítico de 12/06/2019 referente à água residual tratada fornecida pela SIMARSUL de Fernão Ferro.

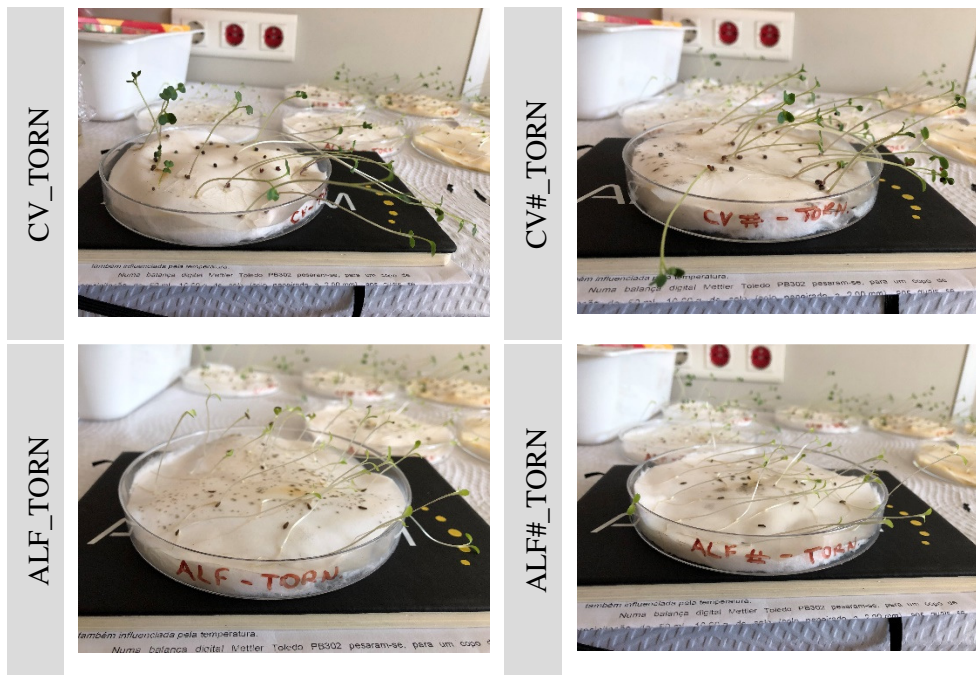
|  <b>SIMARSUL</b><br>Grupo Águas de Portugal           |                                               | BOLETIM ANALÍTICO                                                                     |                            | Nº: <u>FFR-239-19</u> |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|--|
| Infraestrutura: ETAR Fernão Ferro<br>Ponto de amostragem: Efluente final<br>Tipo de amostra: Composta<br>Início da análise: 25-06-2019 |                                               | Amostra: FFR-EFN-192-19<br>Receção da amostra: 25-06-19<br>Fim da análise: 01-07-2019 |                            |                       |  |
| Parâmetro                                                                                                                              | Método                                        | Resultado                                                                             | Unidade                    |                       |  |
| SST                                                                                                                                    | Gravimétrico<br>(MI OPR-LAB-IT001)            | 11                                                                                    | LD= 6<br>LQ= 10<br>U= 13%  | mg/L                  |  |
| CQO                                                                                                                                    | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT003) | 54                                                                                    | LD= 14<br>LQ= 25<br>U= 10% | mg O <sub>2</sub> /L  |  |
| CBO <sub>5</sub> (20)                                                                                                                  | Manométrico<br>(MI OPR-LAB-IT015)             | < 10                                                                                  | LD= 4<br>LQ=10<br>U= 20%   | mg O <sub>2</sub> /L  |  |
| Nt                                                                                                                                     | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT005) | 55                                                                                    | LD= 6<br>LQ=9<br>U= 18%    | mg N /L               |  |
| Pt                                                                                                                                     | Testes à pequena escala<br>(MI OPR-LAB-IT004) | 6,0                                                                                   | LD= 1,3<br>LQ=2<br>U= 12%  | mg P /L               |  |

MI – Método Interno (LQ) – Limite de Quantificação

---

|                     |                   |                         |
|---------------------|-------------------|-------------------------|
| Responsável do LAB: | <i>Olay Feres</i> | Data: <u>12-07-2019</u> |
| DOP-LAB-IP012       |                   | Página 1 de 1           |

**Figura A 3** - Boletim analítico de 25/06/2019 referente à água residual tratada fornecida pela SIMARSUL de Fernão Ferro.



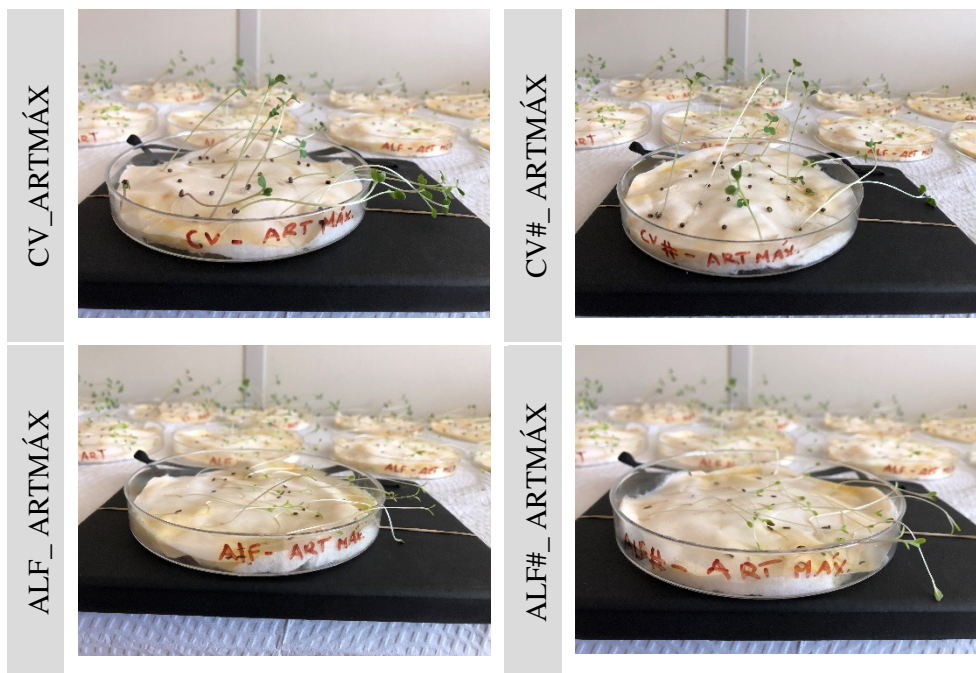
**Figura A 4** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com água da torneira, ao fim de 1 semana após germinação.



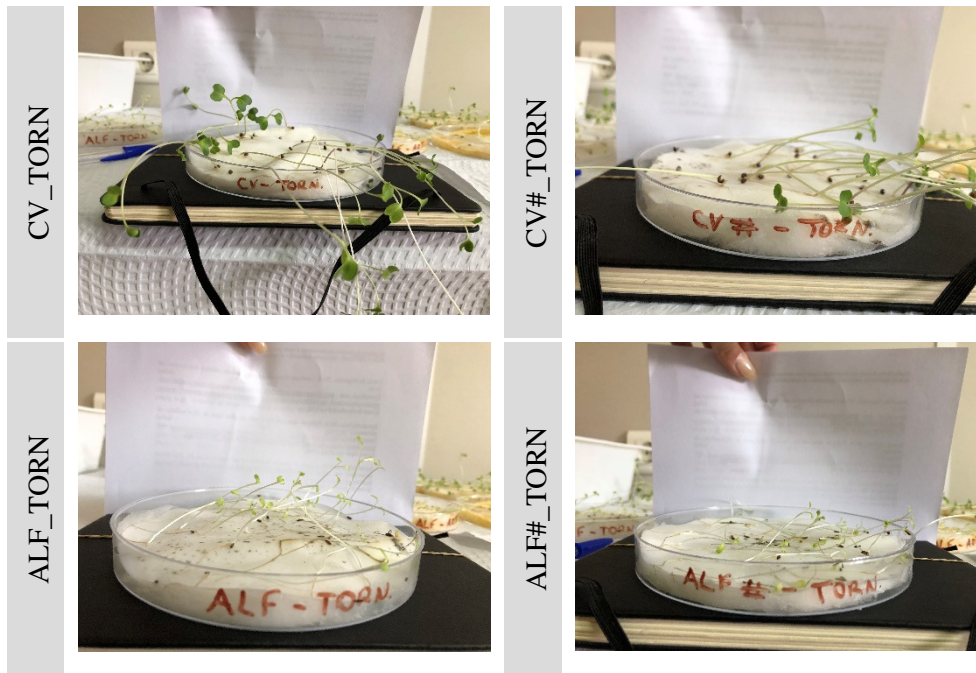
**Figura A 5** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ART, ao fim de 1 semana após germinação.



**Figura A 6** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMéd., ao fim de 1 semana após germinação.



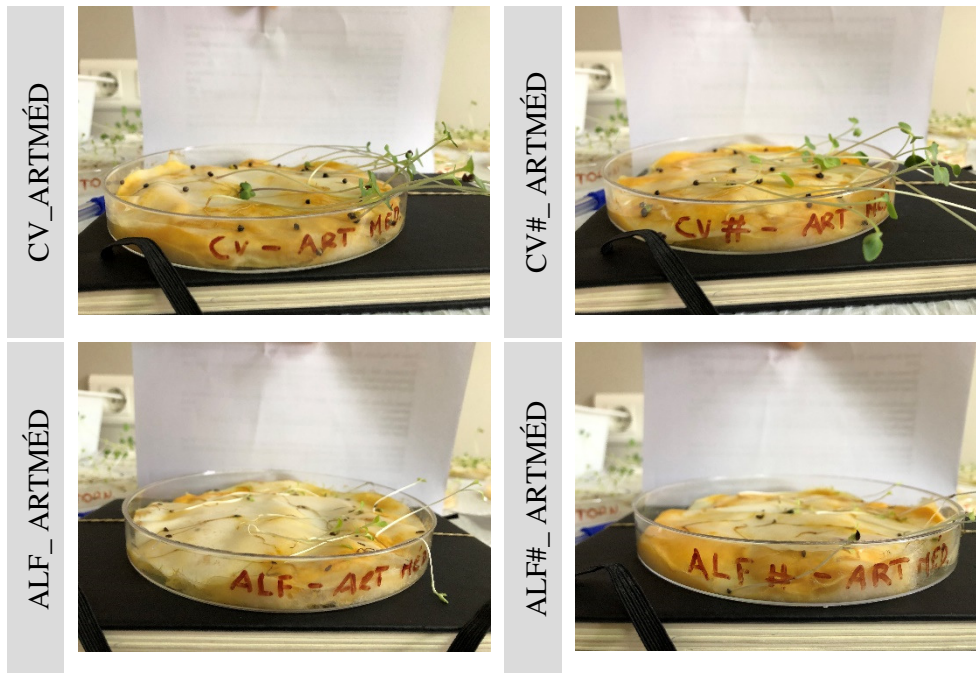
**Figura A 7** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMáx., ao fim de 1 semana após germinação.



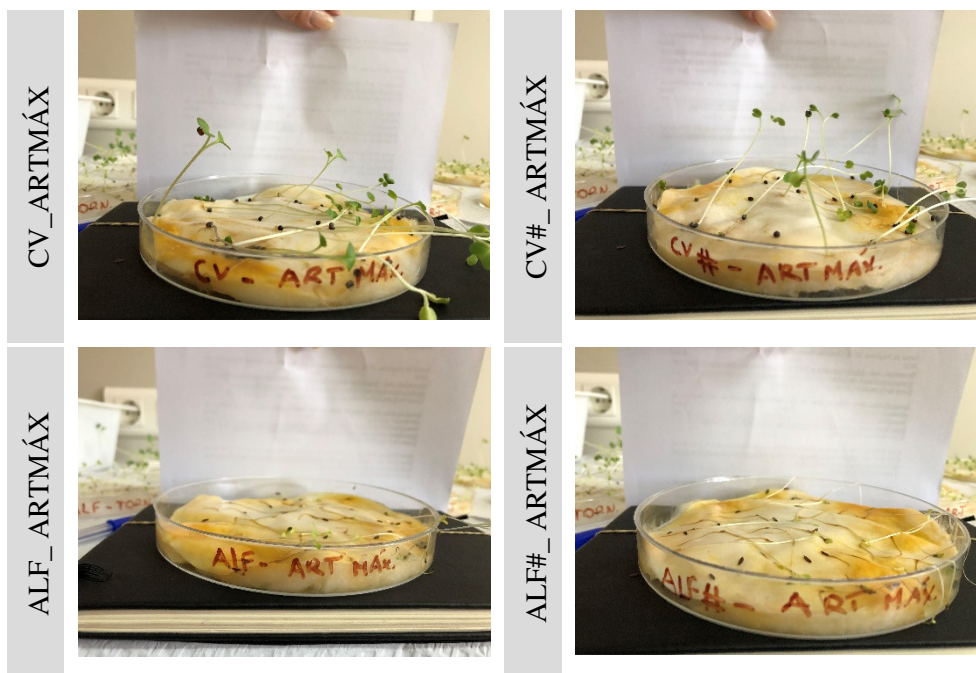
**Figura A 8** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com água da torneira, ao fim de 2 semanas após germinação.



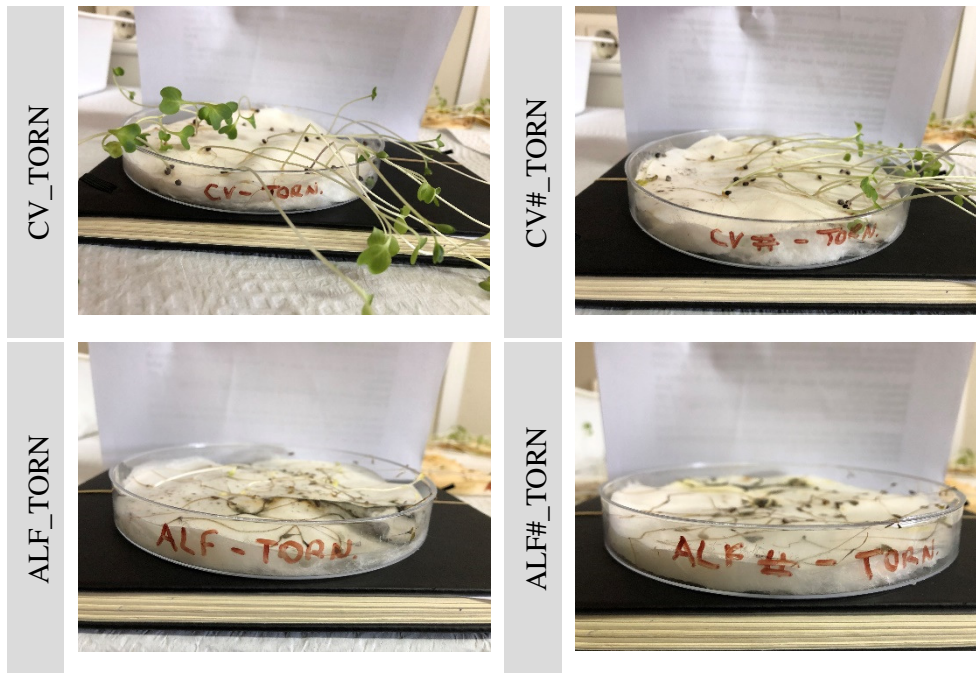
**Figura A 9** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ART, ao fim de 2 semanas após germinação.



**Figura A 10** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMéd., ao fim de 2 semanas após germinação.



**Figura A 11** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMáx., ao fim de 2 semanas após germinação.



**Figura A 3** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com água da torneira, ao fim de 3 semanas após germinação.



**Figura A 4** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ART, ao fim de 3 semanas após germinação.



**Figura A 14** - Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMéd., ao fim de 3 semanas após germinação.



**Figura A 15**- Imagens de plantas de couve (em cima) e alface (em baixo) regadas com ARTMáx., ao fim de 3 semanas após germinação.