

**Alvarina Alexandra Pereira Pinto Serrano**

**SOLUÇÕES REGENERATIVAS NO CICLO URBANO DA  
ÁGUA E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA  
CASO DE ESTUDO: GRÂNDOLA, ALENTEJO**



Instituto Superior de Engenharia

2025

**Alvarina Alexandra Pereira Pinto Serrano**

**SOLUÇÕES REGENERATIVAS NO CICLO URBANO DA  
ÁGUA E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA  
CASO DE ESTUDO: GRÂNDOLA, ALENTEJO**

**Mestrado em Ciclo Urbano da Água**

**Trabalho realizado sob a orientação de:**

**Prof. Doutora Manuela Moreira da Silva - ISE/UAlg & CIMA-ARNET**



Instituto Superior de Engenharia

2025

**SOLUÇÕES REGENERATIVAS NO CICLO URBANO DA  
ÁGUA E RESILIÊNCIA CLIMÁTICA  
CASO DE ESTUDO: GRÂNDOLA, ALENTEJO**

*Declaração de autoria da obra*

Declaro ser o autor desta obra, que é original e inédita. Os autores e obras consultados são devidamente citados no texto e constam da listagem de referências incluídas.

---

(Alvarina Alexandra Pereira Pinto Serrano)

©2025, Alvarina Alexandra Pereira Pinto Serrano

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

*Ao amor da mãe... Carminho Pinto Serrano.*

## AGRADECIMENTOS

À Professora Doutora Manuela Moreira da Silva, minha orientadora, agradeço profundamente o profissionalismo, os ensinamentos partilhados, a total disponibilidade, a dedicação e a constante preocupação e cordialidade demonstrada ao longo deste percurso.

A todo o corpo docente do Mestrado do Ciclo Urbano da Água, constituído por profissionais e investigadores de reconhecida excelência, sempre presentes, envolvidos e atentos, manifesto o meu profundo agradecimento. Agradeço igualmente a constante disponibilidade para o esclarecimento de todas as dúvidas, inclusive aquelas que incidiam sobre aspetos do meu trabalho. À colega Vera Simões, agradeço a sua inextinguível disponibilidade e generosidade.

Ao Eng.º Lobo Soares pelo ser humano extraordinário que é, sempre disponível para partilhar os seus conhecimentos.

Aos meus colegas da Câmara Municipal de Grândola, em particular à Dulce Casaca, à Madalena Neves, à Patrícia Rodrigues, ao Álvaro Pereira, ao Arménio Duro, ao João Casanova, ao Vítor Pereira, ao Aníbal Espada, ao Carlos Fernando e ao Francisco Chainho, agradeço profundamente toda a partilha, apoio e companheirismo. É com grande orgulho que integro uma equipa composta por profissionais tão conhecedores, dedicados e disponíveis. Deixo ainda uma palavra de especial apreço ao Senhor Vereador Ricardo Costa pela fé. É, para mim, um verdadeiro exemplo de liderança. Agradeço também à colega da AgdA, Ângela Sancha, pela disponibilidade e apoio prestado, na azáfama do seu dia-a-dia.

À minha mana do coração, por me segurar mais vezes do que as consigo enumerar. À minha família, que foi fundamental para que eu pudesse ser em simultâneo mãe, dirigente e aluna. Em particular à minha mãe, o meu exemplo de força e sacrifício. Por último, ao meu marido João Paulo Serrano, por nunca ter apontado as minhas ausências ou o tempo que não tivemos em família.

A todos, muito obrigada por me apoiarem e fazerem parte deste desafio. Como Peter Drucker disse: 'A melhor maneira de prever o futuro é criá-lo'.

## RESUMO

O Princípio de Lavoisier, também conhecido como Lei da Conservação das Massas, afirma que, na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma. A água, é uma das manifestações mais evidentes desta afirmação, e, as cidades devem incorporar esta regra na sua génese como forma de proteger um recurso cada vez mais escasso, e, assegurarem a sua adaptação e resiliência aos desafios futuros colocados pelas alterações climáticas e pela crescente pressão antrópica sobre os recursos naturais.

Grândola, uma cidade no Alentejo sofre cada vez mais com sucessivas ondas de calor e com a baixa pluviosidade pelo que, urge integrar no planeamento urbano soluções simbióticas com a natureza que, através dos serviços ecossistémicos prestados, contribuam para a melhoria da qualidade de vida dos seus habitantes, bem como para a saúde humana e ambiental. Estas soluções devem ser sustentadas, na sua totalidade ou em parte, por origens alternativas de água, de proximidade, reduzindo a pressão sobre as origens convencionais de água, e os custos associados à sua utilização.

De acordo com a informação obtida, a estratégia de resiliência hídrica e climática de Grândola assenta na redução de consumos e na utilização de origens alternativas em usos não potáveis, nomeadamente através do aproveitamento da água da chuva e da água descartada das piscinas municipais. No que respeita aos serviços ecossistémicos, é fundamental identificar, para cada espaço verde da cidade, as mais-valias pretendidas. Ainda assim, o planeamento deve basear-se na diversidade de espécies (diferentes entre si e de diferentes dimensões), bem como na sua adequada distribuição pelo território urbano.

**Palavras-Chave:** cidades; ciclo urbano da água; soluções baseadas na natureza; serviços ecossistémicos; origens alternativas de água; resiliência climática; qualidade de vida.

## ABSTRACT

Lavoisier's Principle, also known as the Law of Conservation of Mass, states that in nature, nothing is created, nothing is lost, everything is transformed. Water is one of the most obvious manifestations of this statement, and cities must incorporate this rule into their genesis as a way of protecting an increasingly scarce resource and ensuring their adaptation and resilience to future challenges posed by climate change and growing anthropogenic pressure on natural resources.

Grândola, a town in Alentejo, is increasingly suffering from successive heatwaves and low rainfall. It is therefore urgent to integrate symbiotic solutions with nature into urban planning which, through the ecosystem services provided, contribute to improving the quality of life of its inhabitants, as well as human and environmental health. These solutions must be supported, in whole or in part, by alternative sources of water, located nearby, reducing pressure on conventional water sources and the costs associated with their use.

According to the information obtained, Grândola's water and climate resilience strategy is based on reducing consumption and using alternative sources for non-potable purposes, namely through the harvesting of rainwater and the reuse of water discharged from municipal swimming pools. Regarding ecosystem services, it is essential to identify, for each green space in the city, the intended benefits. Nevertheless, planning should be based on species diversity (different species and of varying sizes) as well as their appropriate distribution across the urban area.

**Keywords:** cities; urban water cycle; nature-based solutions; ecosystem services; alternative water sources; climate resilience; quality of life.

# ÍNDICE

## Índice GERAL

<b>I. INTRODUÇÃO</b> .....	1
I.1. SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA .....	3
<b>I.2. O CICLO DA ÁGUA</b> .....	5
<b>I.2.1. Disponibilidade de água e usos à escala mundial</b> .....	7
I.3. O CICLO URBANO DA ÁGUA .....	7
I.4. A ESCASSEZ DE ÁGUA .....	8
<b>I.4.1. Conceitos de escassez de água, stress hídrico e seca</b> .....	8
<b>I.4.2. Soluções regenerativas do ciclo urbano da água</b> .....	16
I.5. ORIGENS ALTERNATIVAS .....	20
<b>I.5.1. Água do mar e água salobra</b> .....	21
<b>I.5.2. Água proveniente de explorações de minério</b> .....	21
<b>I.5.3. Água residual tratada</b> .....	22
<b>I.5.4. Água da chuva</b> .....	23
<b>I.5.5. Água descartada de piscinas</b> .....	26
I.6. CASO DE ESTUDO .....	28
<b>I.6.1. Caraterização da cidade caso de estudo</b> .....	28
I.6.1.1 Caraterização socioeconómica .....	28
I.6.1.2 Caraterização ambiental e climática .....	29
I.6.1.3 Caraterização ecológica .....	33
<b>I.6.2. A água em Grândola</b> .....	35
I.7. OBJETIVO .....	36
<b>II. METODOLOGIA</b> .....	36
II.1. PERÍODO DO ESTUDO .....	36
II.2. RECOLHA DE INFORMAÇÃO SOBRE O CUA .....	37
II.2.1 Caraterização do CUA da cidade e dos índices de escassez hídrica .....	37
II.3. ORIGENS ALTERNATIVAS DE ÁGUA NÃO POTÁVEL .....	39
II.4. RECOLHA DA INFORMAÇÃO SOBRE OS ESPAÇOS VERDES .....	39
II.5. TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO RECOLHIDA .....	40
<b>III. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS</b> .....	40

III.1. CARATERIZAÇÃO DO CICLO URBANO DA ÁGUA EM GRÂNDOLA...	40
III.1.1. Descrição dos sistemas .....	40
III.1.2. Consumos municipais e produção de águas residuais .....	42
III.2. IDENTIFICAÇÃO DE ORIGENS ALTERNATIVAS DE ÁGUA .....	48
<b>III.2.1. Colheita de água da chuva</b> .....	51
<b>III.2.2. Aproveitamento da água descartada de piscinas</b> .....	60
III.3. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ESCASSEZ HÍDRICA .....	61
III.4. ESPAÇOS VERDES DA CIDADE DE GRÂNDOLA .....	65
<b>IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	80
<b>V. REFERÊNCIAS</b> .....	83
<b>ANEXOS</b> .....	100

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – a) Escassez hídrica na Europa (Parlamento Europeu, 2025); b) Escassez hídrica em Portugal (APA, 2024). .....	14
<b>Figura 2</b> – Evolução do Indicador combinado de seca: a) 11 de agosto de 2024; b) 11 de agosto de 2025 (Observatório Europeu da Seca, 2025). .....	15
<b>Figura 3</b> – Projeção de variação na precipitação anual (esquerda) e de Verão (direita) em toda a Europa para o período 2017-2100 (em comparação com a média de 1971-2000) (AEA, 2021). .....	26
<b>Figura 4</b> – Cidade de Grândola. a) Localização geográfica (wikipédia,2023); b) Perímetro urbano (PUG, 2021). .....	28
<b>Figura 5</b> – Distribuição etária da população residente na União de Freguesias de Grândola e Santa Margarida da Serra (INE, 2021). .....	29
<b>Figura 6</b> – Caracterização climatológica de Grândola. a) Classificação climática de Köppen (IPMA, 2025); b) Dados de temperatura (IPMA, 2025); c) Dados de precipitação (IPMA, 2025). .....	31
<b>Figura 7</b> – Evolução climatológica de Grândola nos últimos 30 anos (IPMA, 2025)...	32
<b>Figura 8</b> – Planta de zonamentos: a) Espaços Verdes de Proteção e Enquadramento (verde escuro); b) Espaços Verdes de Recreio e Lazer (verde claro) (PUG, 2021). .....	34
<b>Figura 9</b> – Evolução da superfície piezométrica do aquífero Bacia do Tejo-Sado/margem esquerda na zona e no período em estudo (IPMA, 2025). .....	43
<b>Figura 10</b> – Precipitação mensal máxima em Grândola no período em estudo (IPMA, 2025). .....	44
<b>Figura 11</b> – Captação de água subterrânea e consumos urbanos domésticos e não domésticos no período em estudo na cidade de Grândola. ....	45
<b>Figura 12</b> – Consumo de água da CMG no período em análise .....	46
<b>Figura 13</b> – Representação esquemática da rede de ApR a executar entre a ETAR de Grândola e um ponto de consumo central na cidade. ....	50
<b>Figura 14</b> – Série de dados mensais de precipitação (IPMA, 2025). .....	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela I.1</b> - Ocorrências climatéricas em 2024 (WMO, 2025; IPMA, 2025). .....	10
<b>Tabela I.2</b> - Listagem de alguns dos Índices de Escassez Hídrica existentes.....	18
<b>Tabela I.3</b> - Fórmulas de cálculo dos índices selecionados para determinar a escassez hídrica da cidade de Grândola (Monzonís, 2015; Liao, 2024). .....	19
<b>Tabela III.1</b> - Volume de água residual produzida no período em estudo na cidade de Grândola.....	47
<b>Tabela III.2</b> - Volume de água utilizada em usos não potáveis no período em estudo na cidade de Grândola. ....	49
<b>Tabela III.3</b> - Identificação dos pontos de recolha e de utilização de água da chuva. ..	52
<b>Tabela III.4</b> - Determinação do suprimento de água a partir da água da chuva.....	54
<b>Tabela III.5</b> - Valores utilizados nos parâmetros para determinação da água da chuva passível de utilização. ....	55
<b>Tabela III.6</b> - Área de captação dos edifícios públicos e respetivos espaços verdes de proximidade. ....	56
<b>Tabela III.7</b> - Suprimento das necessidades de rega com água da chuva nos diferentes espaços verdes.....	57
<b>Tabela III.8</b> - Resultado do aumento da área de captação e da sinergia entre espaços verdes próximos.....	58
<b>Tabela III.9</b> - Valores utilizados para determinação dos índices de escassez hídrica. ..	61
<b>Tabela III.10</b> - Resultados dos índices de escassez aplicados à cidade de Grândola. ...	63
<b>Tabela III.11</b> - Caracterização dos espaços verdes em estudo da cidade de Grândola. ..	66
<b>Tabela III.12</b> - Diversidade e abundância nos espaços verdes em estudo na cidade de Grândola.....	67
<b>Tabela III.13</b> - Variáveis medidas nas árvores amostradas dos espaços verdes da cidade de Grândola.....	68
<b>Tabela III.14</b> - Estimativa dos serviços ecossistémicos assegurados pelas árvores amostradas na cidade de Grândola   Regulação climática e qualidade do ar.....	69
<b>Tabela III.15</b> - Estimativa dos serviços ecossistémicos assegurados pelas árvores amostradas na cidade de Grândola   Remoção de poluentes.....	72

<b>Tabela III.16</b> - Estimativa dos serviços ecossistémicos assegurados pelas árvores amostradas na cidade de Grândola   Regulação do CUA. ....	75
<b>Tabela III.17</b> - Estimativa da evapotranspiração potencial por árvore na cidade de Grândola.....	77
<b>Tabela III.18</b> - Estimativa do escoamento superficial evitado por árvore na cidade de Grândola.....	79

## LISTA DE ACRÓNIMOS

- AA – Abastecimento de água;
- AgdA – Águas Públicas do Alentejo;
- APA/ARH – Agência Portuguesa do Ambiente/Administração da Região Hidrográfica;
- ApR – Água para reutilização;
- C – Carbono;
- CH<sub>4</sub> – Metano;
- CO<sub>2</sub> – Dióxido de carbono;
- CUA – Ciclo Urbano da Água;
- CMG – Câmara Municipal de Grândola;
- DAP – Diâmetro à altura do peito;
- EEAR – Estação elevatória de águas residuais;
- ERSAR – Entidade Reguladora de Águas e Resíduos;
- ETA – Estação de tratamento de água;
- ETAR – Estação de tratamento de águas residuais;
- GEE – Gases de efeito de estufa;
- IP – Infraestruturas de Portugal;
- IPMA – Instituto Português do Mar e da Atmosfera;
- NO<sub>2</sub> – Dióxido de azoto;
- ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável das Nações Unidas;
- O<sub>2</sub> – Oxigénio;
- O<sub>3</sub> – Ozono;
- PIB – Produto interno bruto;
- PM<sub>2.5</sub> – Partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm;
- PM<sub>10</sub> – Partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm;
- PRFV – Plástico reforçado com fibra de vidro;
- RSU – Resíduos sólidos urbanos;
- SAA – Sistema de abastecimento de água;
- SAAC – Sistema de aproveitamento de água da chuva;
- SAR – Saneamento de águas residuais;
- SBN – Soluções baseadas na natureza;

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos;

SO<sub>2</sub> – Dióxido de enxofre;

UE – União Europeia;

## I. INTRODUÇÃO

Desde a Revolução Industrial que a população mundial tem vindo a alterar os seus hábitos, abandonando uma vida em comunhão com a natureza e de reutilização de recursos, por outra imposta por uma economia que segue um modelo linear do tipo “*take-make-waste*” (Rebolledo-Leiva *et al.*, 2024), fixando-se perto dos locais de trabalho e com isso dando origem às cidades.

Presentemente, as cidades abrigam mais de metade da população mundial e produzem cerca de 70 % do PIB (produto interno bruto) global, embora ocupem apenas 2 % da área total da Terra (Paiho *et al.*, 2021). Esta concentração de atividade humana é um dos principais impulsionadores do consumo crescente de recursos e da produção de resíduos, causando sérios problemas ambientais, como poluição do ar e da água, depauperamento de recursos, degradação de ecossistemas e aquecimento global (Satterthwaite, 2011). As cidades não são apenas as principais impulsionadoras das mudanças ambientais globais, mas também são particularmente vulneráveis às suas consequências (Rockström *et al.*, 2020). As previsões apontam para que, as alterações climáticas sejam responsáveis pelo agravamento de fenómenos extremos com particular impacto nestes aglomerados (Oral *et al.*, 2021), agravados pelo aumento do êxodo migratório, e conseqüente aumento das desigualdades, desemprego, pobreza e exclusão social. Até 2050 estima-se que, a população global que vive em cidades e outras áreas urbanizadas irá aumentar até quase 70 % (UN DESA, 2019).

Face a este cenário, os princípios da economia circular devem ser incorporados nas matrizes das cidades através da implementação de medidas que potenciem a regeneração do capital natural, a utilização cíclica dos recursos e, a conversão do desperdício em externalidades positivas (Oral *et al.*, 2021), num ciclo de desenvolvimento de baixo carbono. O desenvolvimento de baixo carbono, é um paradigma de desenvolvimento que enfatiza a redução das emissões de GEE (Gases de efeito de estufa) e o aumento do uso de energia limpa e é caracterizado pelo baixo consumo de energia, baixa poluição e baixas emissões (Tana, *et al.*, 2015). Contudo, a tendência para a economia circular tem mostrado uma diminuição constante em todo o

mundo, caindo de 9.1 % em 2018 para 8.6 % em 2020, pelo que, para manter o nosso mundo habitável e próspero para as gerações atuais e futuras, a circularidade global deve passar de 8.6 % para 17 % (Circle Economy, sd; Babkina *et al.*, 2023). Presentemente, o uso mundial de matérias-primas é 70 % maior do que o que a Terra pode renovar com segurança (Popović *et al.*, 2022), e, as concentrações dos principais GEE (CO<sub>2</sub> (Dióxido de Carbono), CH<sub>4</sub> (Metano), NO<sub>2</sub> (Dióxido de azoto)) continuam a aumentar, tendo as concentrações de CO<sub>2</sub> atingido 419.3 partes por milhão no final de 2023 (WMO, 2024).

A economia circular representa um novo modelo de desenvolvimento económico, onde os recursos são geridos de acordo com a política dos 7 Rs – redesenhar, reduzir, reutilizar, reparar, renovar, reciclar e recuperar - os quais, quando aplicados a um ecossistema urbano, devem ser incorporados nas infraestruturas da cidade e nas funções e serviços disponibilizados (Popović *et al.*, 2022). Contudo, a escala do pensamento sobre o ambiente urbano deve passar a ser global, de modo a resolver os problemas como um todo, estabelecendo não apenas soluções únicas de economia circular mas um quadro abrangente de gestão de recursos, para a biosfera urbana, em que a natureza é combinada com a infraestrutura existente e a renovar (Pearlmuttera *et al.*, 2020), de modo a resolver problemas humanos que a natureza já resolveu (Ghinoi *et al.*, 2024).

As cidades afetam quase todos os ecossistemas da Terra (Elmqvist *et al.*, 2013), e, desempenham um papel importante no ciclo global do carbono, emitindo grandes quantidades de CO<sub>2</sub> devido ao consumo de energia e conversão de terras de ecossistemas naturais ou seminaturais para ambientes construídos (Churkina, 2008). O trabalho de Moran *et al.* (2018) constatou que, 68 % da pegada de carbono global, em 2015, foi produzida por áreas urbanas, e, que 100 das maiores cidades emissoras do mundo foram responsáveis por cerca de 18 % da pegada de carbono global, pelo que, criar espaços urbanos saudáveis e habitáveis será um dos desafios definidores do nosso tempo, cuja qualidade, será determinada tanto pelos seus componentes construídos como naturais (Elmqvist *et al.*, 2013).

## I.1. SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA

As SBN (soluções baseadas na natureza), ou a compatibilização entre as cidades e os ecossistemas naturais, contribuem para a economia circular, convertendo o fluxo linear de utilização de recursos num fluxo circular através do estabelecimento de serviços ecossistémicos. Têm sido ainda cada vez mais apontadas como a solução para mitigar e adaptar as cidades aos efeitos das alterações climáticas, para proteção da biodiversidade, para gestão integrada dos recursos hídricos e para redução do risco de catástrofes naturais, além da promoção do bem-estar e da saúde humana. (Pearlmuttera et al., 2020).

Estas soluções, consistem em intervenções localmente adaptadas e económicas (EC, 2021), podendo ser classificadas em terrestres e aquáticas. Destas, as árvores em particular, podem beneficiar as pessoas porque melhoram os ciclos da água e o ciclo do C (carbono) nas cidades, contribuindo ainda para o sequestro de CO<sub>2</sub>, para a produção de O<sub>2</sub> (Oxigénio), através da fotossíntese, e para a remoção de outros poluentes através da sua absorção nos estômatos ou simplesmente retendo-os na superfície dos tecidos. NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> (Dióxido de Enxofre) e O<sub>3</sub> (Ozono) são absorvidos pelos estômatos das folhas e então são utilizados em processos metabólicos ou convertidos em compostos menos nocivos, como nitratos e sulfatos. Partículas como PM<sub>10</sub> (Partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm) e PM<sub>2.5</sub> (Partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 2,5 µm) são capturadas pelas superfícies de folhas e galhos onde ficam aprisionadas até serem removidas por processos naturais como a lavagem pela água da chuva ou a degradação das folhas. Parte da água absorvida pela planta é libertada como vapor de água na atmosfera, através dos estômatos das folhas (transpiração), o que leva ao aumento da humidade relativa do ar e ao consumo de energia na forma de calor latente que é utilizado para converter a água do estado líquido para o gasoso, levando a uma diminuição da temperatura. As copas proporcionam áreas frescas e sombreadas mitigando o efeito das ondas de calor nas cidades. A redução de temperatura melhora a qualidade de vida das pessoas que utilizam o espaço e, se próximas de edifícios, reduzem a energia necessária para arrefecê-los (Apud Matias *et al.*, 2025).

As árvores desempenham ainda um papel crucial na mitigação de inundações urbanas, se forem adotadas medidas de gestão e soluções de planeamento adequadas, os espaços verdes, incluindo diferentes espécies de árvores, podem recolher e reter água temporariamente o que permite que os picos de descarga se estabilizem, reduzindo a probabilidade de inundações repentinas que podem causar danos humanos e materiais. Durante as chuvas, a copa das árvores intercepta e retém água nas suas folhas e galhos, uma parte dessa água evapora de volta para a atmosfera, nunca atingindo o solo, enquanto que o restante eventualmente cai, mas com atraso em relação ao início da chuva. Este fluxo de água retardado e reduzido ajuda a minimizar o escoamento superficial, reduzindo o risco de inundações em áreas urbanas (Apud Matias *et al.*, 2025).

Os espaços verdes urbanos também trazem benefícios para os indivíduos e comunidades por promoverem a atividade física, apoiar o bem-estar mental e a interação social, contribuindo grandemente para alcançar 3 dos 17 ODS (objetivos de desenvolvimento sustentável) das Nações Unidas: a) ODS 3 - boa saúde e bem-estar; b) ODS 11 - cidades e comunidades sustentáveis, e, c) ODS 13 - Combate às alterações climáticas, através da neutralidade carbónica (Pereira *et al.*, 2024).

A neutralidade climática, ou neutralidade carbónica, visa a redução, na atmosfera, das emissões de GEE, geradas pela atividade humana, decorrentes da queima de combustíveis fósseis, a fim de assegurar que não há consequências para o sistema climático (CE, 2025), podendo ser alcançada por três formas: a) através da melhoria da eficiência energética; b) através da captura e fixação de gases com efeito de estufa, com particular enfoque para o CO<sub>2</sub> e, c) utilizando combustíveis limpos alternativos. A captura e fixação de CO<sub>2</sub>, ou sequestro de C, pode realizar-se de forma direta e indireta (Brancalion *et al.*, 2020), contribuindo as árvores para o sequestro indireto, no qual o CO<sub>2</sub> atmosférico é naturalmente absorvido pela fotossíntese e incorporado na biomassa do vegetal durante o seu crescimento. A captura e fixação de CO<sub>2</sub> contribui ainda para a promoção da circularidade do C, o qual ao ser fixado no solo através das raízes das plantas contribui para a sua fertilização e para a manutenção dos seres vivos no planeta

através do seu papel na fotossíntese (libertação de O<sub>2</sub> (oxigênio) na atmosfera) (Wilberforce *et al.*, 2019).

Considerando que, cerca de 2.6 mil milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, libertado pela queima de combustíveis fósseis, é absorvido pelas florestas todos os anos, o fitosequestro (Jesus *et al.*, 2021), é uma solução no combate ao aquecimento global apesar de depender do tamanho, topografia, clima, tipo de solo, tipo de ecossistema, idade e estrutura, espécie de árvore, biodiversidade, disponibilidade de nutrientes, uso da terra e perturbações naturais e antrópicas, a título de exemplo refere-se a poluição, a densidade populacional e a compactação do solo (Pereira *et al.*, 2024). De referir que, o sobreiro, típico da planície e clima alentejano, leva 4 anos até começar a capturar C, e, tem a sua capacidade de sequestro diminuída ao envelhecer (Vale, 2014).

Matias *et al.*, (2025) no estudo realizado em três jardins de Faro concluíram que, um planeamento urbano, que vise sinergias com a biodiversidade, oferece inúmeros benefícios à cidade e aos seus moradores pelo que, importa ter sapiência na localização e dimensão dos espaços verdes, assim como nas espécies aplicadas.

Outro aspeto de importância extrema a considerar nas SBN terrestres é a sua inclusão e manutenção sem que ocorra competição pelo recurso água, através da redução do consumo, garantido pela: a) melhoria da eficiência no uso, apostando em espécies autóctones, sistemas eficientes de rega e remodelação de infraestruturas, e, b) identificação e utilização de origens alternativas não potáveis de água, numa lógica de proximidade, para não penalizar ambiental e economicamente estas soluções.

## **I.2. O CICLO DA ÁGUA**

A água é a única substância que existe nos três estados da matéria (sólido, líquido e gasoso), implicando que haja transferências contínuas entre os mesmos. Essa transferência é feita através de um processo contínuo e fechado denominado ciclo hidrológico (Leitão, 2014) ou ciclo da água.

O ciclo da água é originado e mantido pela radiação solar e modulado pela energia potencial gravítica, permitindo assegurar o abastecimento contínuo de água, que assim constitui um recurso renovável (Oliveira, 2022), ainda que de quantidade finita. É através deste ciclo que, a água existente no planeta se movimenta através de diferentes estados físicos e localizações e, divide-se em dois ramos principais: o atmosférico e o terrestre. A parte terrestre abrange a água que se encontra em contacto com o solo, o seu escoamento e armazenamento. Por outro lado, a vertente atmosférica consiste no transporte atmosférico de água, principalmente na forma de vapor (Freire, 2025).

Este ciclo, começa com a evaporação, onde o calor solar, ao atingir os oceanos, rios e lagos, aquece a água e transforma-a em vapor. A água, no estado gasoso, sobe então para a atmosfera, mantendo uma temperatura elevada e parando à medida que arrefece. Quando o vapor de água perde temperatura, arrefece e condensa, dando origem a nuvens que, no lugar de permanecerem estacionárias, são movidas e impulsionadas pelos ventos e correntes atmosféricas. Quando as condições são adequadas, as gotículas de água aglomeram-se o suficiente para aumentar a sua atração gravitacional em direção à superfície e caem de volta à Terra sob a forma de precipitação, que pode ser chuva, neve ou granizo (Freire, 2025).

Na superfície da Terra, a água da precipitação pode seguir dois caminhos diferentes: infiltração ou escoamento superficial. No primeiro caso, a água que se infiltra no interior transforma-se em água subterrânea, que alimenta os aquíferos e as nascentes, fontes tradicionais de água potável para os seres humanos. A água que corre sobre as montanhas, por outro lado, acaba por provocar a erosão da superfície, dando origem a rios e ribeiros, que desaguam nos oceanos e mares, onde são depois libertados de novo na atmosfera sob a forma de vapor, fechando o ciclo. A humidade também pode entrar na atmosfera diretamente a partir do gelo ou da neve, através de um processo designado por sublimação, sem ter que se tornar líquida primeiro (Freire, 2025).

É um ciclo essencial para a manutenção da vida na Terra: fornece água doce para o consumo humano, a agricultura e a indústria, regula o clima global redistribuindo o calor e a humidade, e, suporta os ecossistemas terrestres e aquáticos. No entanto, é também vulnerável a perturbações como as alterações climáticas ou à atividade humana,

nomeadamente, à poluição, à desflorestação ou à sobre-exploração dos recursos (Freire, 2025).

### **I.2.1. Disponibilidade de água e usos à escala mundial**

A quantidade de água existente no planeta mantém-se praticamente inalterada desde a sua formação. Os oceanos representam 97% do total enquanto que os restantes 3% se encontram distribuídos de várias formas: i) calotas polares, ii) rios e lagos e, iii) retidos no subsolo e na atmosfera. Em termos globais, a água doce corresponde a 110 000 km<sup>3</sup> e provém principalmente da precipitação atmosférica, que constitui a principal fonte de água no planeta (Molden, 2007).

Em termos de utilização, é no setor da agricultura, que ocorre o maior consumo de água a nível mundial concluindo-se que, a retirada global de água aumentou 1.7 vezes mais rápido do que a população mundial (UN-FAO, 2021). Estima-se que, a procura global de água seja, presentemente, 4.600 km<sup>3</sup>, prevendo-se ainda que, em 2050, a mesma atinja valores compreendidos entre 5.500 km<sup>3</sup> e 6.000 km<sup>3</sup>, aumentando o fosso entre procura e disponibilidade (UN-FAO, 2021). A população mundial continuará a crescer nos próximos 50 ou 60 anos, atingindo um pico de cerca de 10.3 mil milhões de pessoas em meados da década de 2080, face aos 8.2 mil milhões de 2024 (UN-DESA, 2024), o que contribuirá para o agravar do nexus Água-Energia-Alimentos-Ecossistemas.

### **I.3. O CICLO URBANO DA ÁGUA**

O ciclo da água apoia a regeneração dos recursos hídricos, e, é a principal força motriz para a manutenção dos ecossistemas, contudo, com a aceleração da urbanização, e, das atividades humanas, a procura por água incrementou. Consequentemente, o ciclo da água transitou gradualmente para um modelo urbano. Enquanto que, o processo básico de um ciclo natural da água é precipitação–escoamento–evaporação e, ocorre de forma espontânea, o processo básico de um ciclo urbano da água é captação-distribuição-recolha-transporte-devolução, o qual não é natural nem espontâneo (Zhao *et al.*, 2022).

O ciclo urbano da água, pode ser dividido em duas vertentes, abastecimento de água e saneamento de águas residuais e, compreendem várias etapas entre a captação e a

utilização e, a recolha e a rejeição respetivamente. No ciclo hidrológico, a energia solar é fundamental, para garantir a mudança de fase da água enquanto que, no ciclo urbano da água, o fornecimento de energia, para elevação e tratamento, é incontornável. De acordo com a Agência Internacional da Energia, o Setor da Água – água e águas residuais - é responsável por 4 % do consumo mundial de eletricidade (consumo equivalente ao da Rússia), prevendo-se a duplicação desse valor até 2040. Em Portugal, este setor é responsável por um consumo de energia elétrica superior a 1 000 GWh/ano, valor correspondente a mais de 2 % do consumo total de energia elétrica. Paralelamente, a este consumo, está associada a emissão de mais de 470 mil toneladas de CO<sub>2</sub> (ERSAR, 2018).

A sobrevivência exigirá adaptações nos sistemas urbanos, razão pela qual o modelo tradicional de ciclo urbano estar em evolução gradual para um modelo dualista de ciclo “natural-social” ou “natureza-sociedade”, refletindo atributos tanto da natureza como da sociedade, e, cujo processo básico é captação de água – utilização da água – consumo de água – drenagem da água – reutilização da água (Zhao *et al.*, 2022).

O ciclo social faz uma utilização racional e científica dos recursos hídricos, para não prejudicar a sua circulação natural já que, uma utilização excessiva interfere com os processos de circulação natural, e, quando o grau de interferência excede a capacidade do ciclo natural da água, a saúde humana poderá ser afetada (Zhang *et al.*, 2017). É necessária uma gestão integrada para garantir a utilização racional da água, o que implica também a avaliação do estado da água e a avaliação da sua qualidade (Amores, 2013).

## I.4. A ESCASSEZ DE ÁGUA

### I.4.1. Conceitos de escassez de água, stress hídrico e seca

O consumo de água duplicou no último século, tornando a sua insuficiência uma das questões mais prementes do século XXI (Oral *et al.*, 2021). A procura global de água é amplamente influenciada pelo crescimento populacional, urbanização, políticas de segurança alimentar e energética e processos macroeconómicos, como a globalização do

comércio e mudanças nos hábitos alimentares. Até 2050, a procura global de água deverá aumentar 55 %, principalmente devido à crescente procura por parte da indústria, da produção de energia térmica e do uso doméstico, e, estima-se que, até 2030 haverá uma deficiência de 40 % de água potável em todo o mundo (UNESCO, 2015). A produção de quantidades significativas de efluentes industriais também contribuirá para este défice (Oral *et al.*, 2021).

Alimentar a população mundial em 2050 exigirá um aumento de 50 % na produção agrícola (que consome 70 % dos recursos atuais) e um aumento de 15 % na retirada de água. Para além desta procura crescente, o recurso já é escasso em muitas partes do mundo. As estimativas indicam que mais de 40 % da população mundial vive em áreas com escassez de água sendo que, aproximadamente,  $\frac{1}{4}$  do PIB mundial está exposto a este desafio. Estima-se que, em 2040 uma em cada quatro crianças viverá em zonas com extrema escassez de água (WBG, 2022).


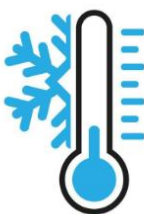
As nossas ações têm impacte no ambiente global, incluindo o clima, o qual por sua vez afeta as quantidades e a distribuição espacial e temporal da precipitação que cai nas bacias hidrográficas e o momento do seu escoamento. Em conjunto com as mudanças nas paisagens, devido ao crescimento da produção de alimentos e de energia e à deslocação das pessoas para os centros urbanos, a quantidade e a qualidade dos recursos de água doce têm sofrido graves alterações (Cosgrove, 2015).

As alterações climáticas irão agravar a escassez de água alterando o ciclo hidrológico, tornando a disponibilidade de água mais imprevisível e aumentando a frequência e a intensidade das cheias e secas. Os danos causados pelas cheias são estimados em cerca de 120 mil milhões de dólares por ano (apenas danos materiais), e as secas representam, entre outras coisas, restrições para a população rural pobre, altamente dependente da variabilidade das chuvas para a sua subsistência (WBG, 2022). Entre 2011 e 2015, na Europa, os desastres relacionados com a água custaram 147.4 mil milhões de dólares, o que equivale a cerca de 126.8 mil milhões de euros (UN 2020).






Os eventos climáticos extremos serão cada vez mais frequentes, em bacias hidrográficas à escala mundial, razão pela qual se discute, e avalia, cada vez mais, a questão da

vulnerabilidade hídrica (Lazurko *et al.*, 2023), e, da resiliência através de uma gestão adaptativa do recurso. Além das questões ambientais, temperaturas extremas, em conjunto com outros fatores ambientais, podem impactar a saúde humana, estimando-se que, em 2023 ocorreram cerca de 47 700 óbitos relacionadas com o calor, e, em 2022, 61 700 (WMO, 2024). No outro extremo, na Líbia, chuvas intensas, devido ao ciclone tropical Daniel, causaram o rompimento de 3 barragens, resultando na morte de mais de 4 700 pessoas, e, 8 000 desaparecidos (WMO, 2024). Apesar de 2023 ter sido caracterizado por temperaturas recordes, 2024 foi o ano mais quente já registado, com uma temperatura média global superior a 1.5 °C acima dos níveis pré-industriais, e, a Europa, foi o continente que registou o aquecimento mais rápido, desde a década de 1980, cerca do dobro da taxa global (WMO, 2025), listando-se as principais ocorrências, na tabela I.1.

**Tabela I.1** - Ocorrências climatéricas em 2024 (WMO, 2025; IPMA, 2025).

ELEMENTO	OCORRÊNCIA
<p><b>CONTINENTE EUROPEU</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 60 % do território esteve mais dias acima da média em stress térmico forte, isto é, em que a sensação térmica foi de 32 °C, ou mais;</li> <li>- Grande parte do sul e do leste tiveram mais dias do que a média com pelo menos stress térmico muito forte, onde a sensação térmica foi de 38 °C ou mais;</li> <li>- Verificou-se um aumento dos incêndios florestais os quais foram de maior porte e com uma temporada prolongada. Os valores mais altos foram observados em setembro, devido a uma combinação de condições secas e ventos fortes, em Portugal e, em partes de, Espanha;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O número de dias de stress pelo frio foi o menor já registado, mas os dias em que ocorreram estavam em categorias muito severas;</li> <li>- Grande parte da Europa teve menos dias com neve do que a média, exceto o norte da Europa durante o Inverno. Os glaciares perderam gelo, com destaque para a Escandinávia e Svalbard com uma perda média de espessura de gelo de 1.8 m e 207 m, respetivamente, as quais constituem as maiores taxas de perda de massa registadas;</li> </ul>

**Tabela I.1** (cont.) - Ocorrências climáticas em 2024 (WMO, 2025; IPMA, 2025).

ELEMENTO	OCORRÊNCIA
<b>CONTINENTE EUROPEU</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Na Europa Ocidental, foi um dos dez anos mais chuvosos no período analisado, desde 1950, com a precipitação mais acima da média observada na França, Norte da Itália, Bélgica, Holanda, Luxemburgo e Dinamarca;</li> <li>- As tempestades e inundações afetaram 413 000 pessoas, resultando na perda de pelo menos 335 vidas, estimando-se que os danos causados tenham custado pelo menos 18 mil milhões de euros;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O Mar Mediterrâneo, como um todo, teve o seu ano mais quente já registado com 21.5 °C, isto é, 1.2 °C acima da média e 0.3 °C acima do recorde de 2023.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Foi um ano muito quente e seco, sendo o 4º mais quente desde 1931, com uma média da temperatura do ar de 16.49 °C;</li> <li>- Ocorreram 64 novos extremos da temperatura máxima;</li> <li>- Ocorreram 8 ondas de calor;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ocorreram 177 novos extremos da temperatura mínima;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Foi o 14º ano com precipitação mais baixa desde 2000;</li> <li>- Ocorreu seca meteorológica fraca a moderada entre maio a setembro e dezembro;</li> </ul>

Em termos futuros, a zona do Mediterrâneo, destaca-se como uma região crítica para riscos climáticos complexos (Palatnik, 2025), projetando-se que, o crescimento populacional aumente a procura por água, levando a uma maior escassez natural de água nas regiões do Sul e Leste do Mediterrâneo, juntamente com secas no Norte, onde se inclui o nosso país. O direito humano fundamental à água, aumentará a procura de energia no setor hídrico para a expansão de processos com alto consumo de energia, como a dessalinização, o tratamento de águas residuais e a reutilização, o que poderá contribuir para o aumento das emissões de GEE, afetadas pelas diferenças entre países, em regulamentação e tecnologias. Paralelamente, os planos para expandir a produção de energia, incluindo energias renováveis e energia nuclear, muitas vezes dependem da

disponibilidade suficiente de água, uma premissa que pode ser desafiante com as mudanças nas condições climáticas (Palatnik, 2025).

Para Portugal especificamente, perspectiva-se o aumento da temperatura, o qual pode chegar a +5 °C em 2100, o aumento substancial de dias muito quentes ( $T_{max} \geq 35$  °C), especialmente no interior sul, o aumento do número de noites tropicais ( $T_{min} \geq 20$  °C) e ondas de calor mais longas, especialmente no interior nordeste (APA, 2021).

À vulnerabilidade futura, acresce o facto dos recursos hídricos renováveis, cerca de 40 000 Km<sup>3</sup> (Molden, 2007) não se encontrarem uniformemente distribuídos pelo globo terrestre existindo, no mundo, dois quadros de escassez, a escassez económica ou social e, a escassez física, relacionada com a disponibilidade natural do recurso.

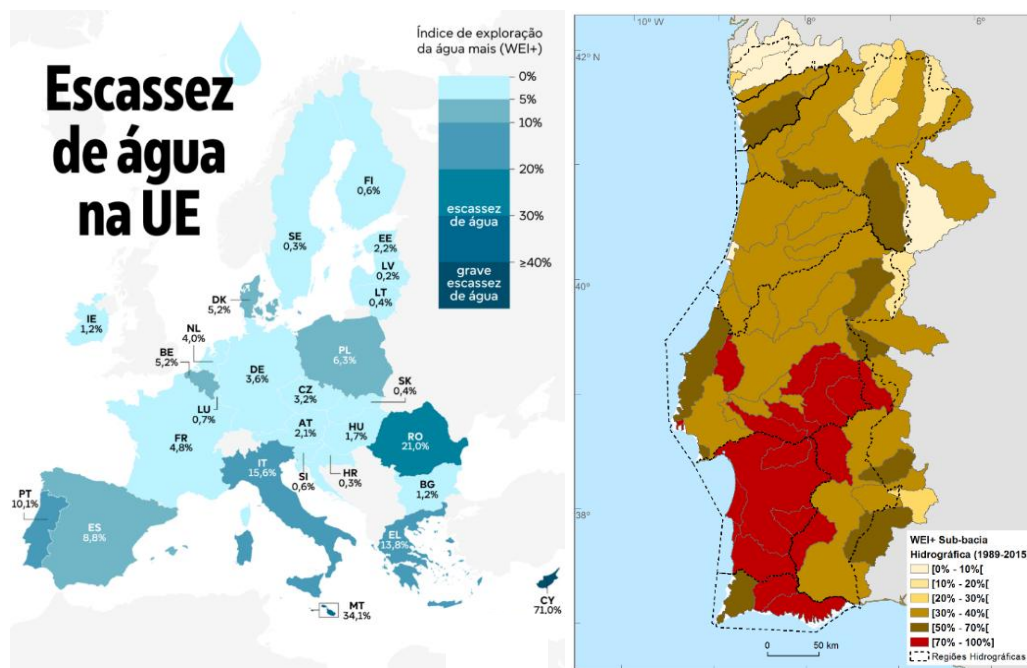
A escassez física, define-se por um desequilíbrio entre a procura e a oferta de água em condições sustentáveis, com base em análises efetuadas a longo prazo. Pode ser um fenómeno conjuntural, quando associada a curtos períodos de tempo e motivada pela redução temporal das disponibilidades ou aumento da procura ou, estrutural, quando a procura, promovida pela população, de modo cíclico ou frequente excede o recurso mobilizável (APA, 2024; Falkenmark *et al.*, 2007). Pode resultar de causas naturais, como por exemplo num clima árido e com alta procura evaporativa, o que resulta em muito pouco excedente disponível para infiltração no solo, e, em áreas com clima de monções, onde a chuva cai em épocas específicas do ano, como acontece na região do Sahel e no sul da África. No entanto, também é causada por atividades humanas, que impedem a absorção de água pela zona radicular das plantas, são exemplo disso todas as atividades que promovam a degradação do solo (Falkenmark *et al.*, 2007; Mekonnen e Hoekstra 2016).

Por outro lado, o acesso à água é difícil para milhões de pessoas pobres por razões que vão além da base física do recurso, há locais em que a água é abundante mas levá-la em quantidade e qualidade a quem precisa é difícil, devido à falta de infraestruturas, custos de operação e ao acesso restrito por questões políticas e socioculturais, colocando uma grande pressão sobre a gestão da água (Molden, 2007). Estima-se que, 2.2 mil milhões de pessoas (27 % da população mundial) não tiveram acesso a água potável em 2022,

com quatro em cada cinco pessoas vivendo em áreas rurais sem serviços básicos de água potável (escassez social). No saneamento, o cenário foi pior, com 3.5 mil milhões pessoas, em todo o mundo, sem acesso a saneamento gerido com segurança. Na América Latina, Caribe e na Ásia Central e Meridional apenas metade da população teve acesso a serviços de saneamento, e, na África Subsaariana, a cobertura foi de apenas 24 % (UNESCO, 2025).

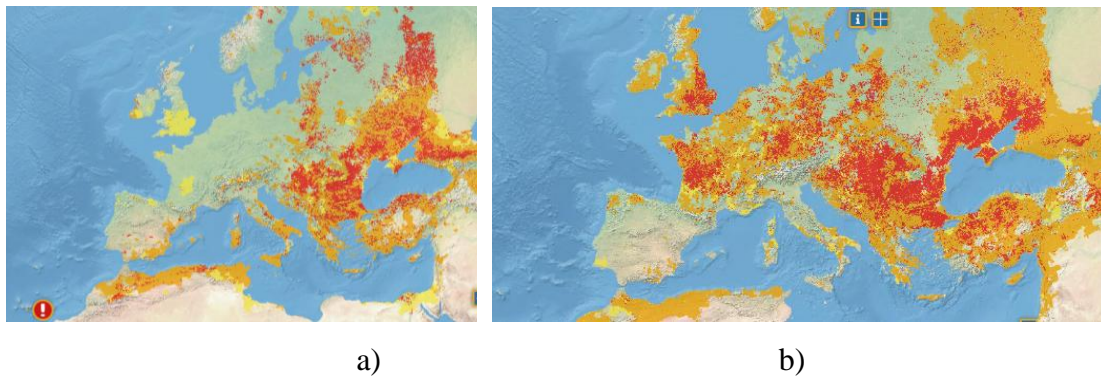
A nível Europeu, em 2019, 38 % da população e 29 % do território foram afetados pela escassez física de água (Figura 1) (CE, 2025).

Em Portugal, a questão da escassez económica ou social não é problemática porque todos os aglomerados com expressão, em termos populacionais, são dotados de infraestruturas de saneamento básico, e, a regulamentação vigente garante o acesso à água enquanto bem indissociável da qualidade de vida e dignidade humana, praticando-se vários tarifários de cariz social, que garantem a universalidade no acesso ao recurso, no entanto, o sul do país, padece de escassez física, conforme observável na Figura 1 e, nos últimos anos, decorrente de longos períodos de seca, vem sofrendo de stress hídrico, fragilidade esta que levou à execução da Barragem do Alqueva.



**Figura 1** – a) Escassez hídrica na Europa (Parlamento Europeu, 2025); b) Escassez hídrica em Portugal (APA, 2024).

O stress hídrico é uma consequência da seca e da escassez hídrica ocorrendo quando a procura pelo recurso supera a sua disponibilidade, isto é, a capacidade de renovação do recurso e como tal, nem todos têm acesso garantido à água. A seca é um fenómeno natural que resulta de uma deficiência de precipitação em relação ao esperado ou “normal” que, quando se prolonga por uma estação ou mais, é insuficiente para satisfazer as exigências das actividades humanas e do ambiente. A seca, por si só, não é uma catástrofe. O facto de se tornar uma catástrofe depende do seu impacte na população local e no ambiente (Wilhite e Pulwarty, 2005). A seca é um fenómeno natural em vários continentes e países no mundo, residindo o seu problema na persistência. Anualmente, a União Europeia despende entre 2 a 9 mil milhões de euros para fazer face às consequências da seca no território (CE, 2025). Na Figura 2, é possível visualizar a evolução do Indicador combinado de seca na UE (União Europeia), e mais especificamente em Portugal, em agosto de 2024 e 2025. As regiões assinaladas a amarelo encontram-se sob vigilância, a laranja estão as regiões sob aviso e a vermelho as que estão sob alerta.



**Figura 2** – Evolução do Indicador combinado de seca: a) 11 de agosto de 2024; b) 11 de agosto de 2025 (Observatório Europeu da Seca, 2025).

O combate à vulnerabilidade, estado de suscetibilidade a danos decorrentes da exposição a impactes adversos associados a alterações ambientais e sociais (Adgner, 2006) é fundamental, assim como a capacidade de adaptação. E, fornecer uma resposta oportuna e robusta a essas pressões é a missão da resiliência hídrica (Assarkanini, 2023), traduzida na garantia de resposta à crescente procura da humanidade por água doce, ao mesmo tempo que se protegem os ecossistemas, mantendo a pegada hídrica azul dentro dos níveis máximos sustentáveis por bacia hidrográfica. Este será dos desafios mais difíceis e importantes deste século (Hoekstra e Wiedmann, 2014). De referir que, o conceito de vulnerabilidade, abrange o potencial de danos à disponibilidade, qualidade e acessibilidade da água devido a fatores ambientais, socioeconômicos e infraestruturais (Assarkanini, 2023).

Considerando que, no Mundo, a agricultura é responsável por 69 % das retiradas globais de água, as indústrias por 19 % e as cidades por 12 % (UN-FAO, 2021) importa, melhorar a eficiência no uso da água. Destes, os municípios, pelo seu papel crucial na governança e desenvolvimento local assim como na administração de serviços públicos, na ausência de diretrizes específicas, carecem de apoio no desenvolvimento de estratégias de adaptação aos novos desafios ambientais, as quais se devem basear em métricas expeditas passíveis de comparação e avaliação para suportar o processo de tomada de decisão, auxiliando no planeamento de operações municipais e, facilitando o design urbano sustentável das cidades, mas acima de tudo tornando informações complexas em informações compreensíveis e acessíveis (Papageorgiou *et al.*, 2021).

Existem métricas para calcular a circularidade da água, a título de exemplo refere-se o trabalho desenvolvido por Rebelo e Farabegoli (2025) onde é explanada uma nova métrica, aplicada a 14 casos de estudo distintos em 7 países europeus, para avaliar as práticas de uso da água em contextos urbanos e industriais, de modo a que autoridades e operadores avaliem e aprimorem suas estratégias de gestão da água, incluindo as relações entre captação, reutilização e rejeição. E, existem métricas para avaliar a escassez de água.

#### **I.4.2. Soluções regenerativas do ciclo urbano da água**

As estimativas indicam que, com as práticas atuais, o mundo enfrentará um déficit de 40 % entre a procura prevista e o fornecimento disponível de água até 2030 (WBG, 2022). À medida que a poluição da água e as mudanças climáticas agravam o problema da escassez da água, a gestão integrada dos recursos hídricos torna-se essencial para alcançar o desenvolvimento sustentável (Engle *et al.*, 2011).

Reduzir a procura de água através de medidas de poupança e conservação é o primeiro passo, e o mais económico, contudo, a resiliência, isto é, a capacidade de um sistema absorver perturbações e manter a sua função e estrutura básica, auto organizando-se e adaptando-se a circunstâncias emergentes (Adger, 2006; Walker *et al.*, 2012), depende do equilíbrio entre o uso do recurso e a proteção dos ecossistemas (Vorosmarty *et al.*, 2010).

As estruturas tradicionais de gestão da água têm-se revelado progressivamente inadequadas para enfrentar estes desafios contemporâneos. Os seus modelos estáticos e centralizados limitam a capacidade de adaptação às flutuações ambientais e às mudanças demográficas, além de desconsiderarem os limites impostos pela disponibilidade natural do recurso. Em contrapartida, a gestão adaptativa e regenerativa da água surge como uma alternativa orientada para o futuro, ao privilegiar a conceção de sistemas dinâmicos, resilientes e autossustentáveis, capazes de evoluir ao longo do tempo (Kuppan *et al.*, 2024). Esta abordagem alinha-se com os princípios da economia circular, promovendo o tratamento, a reutilização e a regeneração da água em sistemas de ciclo fechado. Deste modo, assegura-se tempo para que os sistemas naturais

recuperem o equilíbrio e se promova a restauração dos ecossistemas. Estes modelos procuram imitar a capacidade intrínseca da natureza de restaurar a sua funcionalidade com um mínimo de intervenção externa (Narendra *et al.*, 2025).

Numa época em que a exploração das fontes de água azul (superficiais e subterrâneas) ocorre a um ritmo superior à capacidade natural de reposição do Planeta, torna-se crucial encontrar formas de ganhar tempo para que os sistemas naturais possam recuperar o equilíbrio. Entre as possíveis estratégias passíveis de implementação, a utilização de origens alternativas de água de proximidade, destinadas a usos não potáveis, pode contribuir significativamente para reduzir custos e evitar que esses consumos entrem em competição com os usos potáveis, garantindo o necessário tempo para recuperação do sistema natural.

Para avaliar se as necessidades hídricas de todos os utilizadores humanos e do meio ambiente podem ser asseguradas, e, inversamente, se a água é escassa ou não, é necessária uma análise da quantidade de água de uma qualidade específica necessária versus a quantidade de água disponível, ou que pode ser disponibilizada, onde e quando.

Falkenmark e Lindh em 1974 propuseram, uma das primeiras relações quantitativas entre os recursos de água doce e a população, na Terceira Conferência Mundial sobre População, realizada em Bucareste. No entanto, a quantificação formal da escassez de água começou, na década de 80, com o desenvolvimento do Índice de Stress Hídrico ou Indicador de Falkenmark (*Falkenmark, 1989*), o qual foi concebido no contexto das fomes que ocorriam na região do Sudão-Sahel, em África, para fornecer um sistema de alerta, precoce, para orientar as estratégias de auto-suficiência alimentar tendo em vista a previsão de secas futuras e de crescimento populacional (Damkjaer e Taylor, 2017). É um indicador que foi construído para identificar as necessidades de água necessárias para o bem estar social de uma região o que inclui não só o consumo humano mas o consumo agrícola e industrial (Brown e Matlock, 2011)

Nos últimos anos, as métricas de escassez hídrica evoluíram de limiares simples de disponibilidade de água doce per capita para métricas progressivamente mais sofisticadas que contabilizam a variabilidade na procura, as necessidades ambientais de

água e uma gama de condições sociais e ambientais. Entre os mais de 150 indicadores existentes, na tabela I.2 lista-se uma pequena amostra, agrupados de acordo com a sua similariedade predominante (Damkjaer e Taylor, 2017).

**Tabela I.2 - Listagem de alguns dos Índices de Escassez Hídrica existentes.**

ÍNDICE	CARATERÍSTICAS
<b>Índices baseados nas necessidades para consumo humano</b>	
Índice de Stress Hídrico ou Indicador de Falkenmark (Falkenmark, 1989)	São índices usados à escala nacional para medir o estado dos recursos hídricos com base apenas na necessidade de água para consumo humano e na sua disponibilidade. São geralmente expressos per capita e por ano, permitindo determinar a água disponível (Brown e Matlock, 2011).
Índice de Escassez de Água (Gleick, 1996)	
Índice de Stress Hídrico Social ou Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) (Ohlsson, 2000)	
Disponibilidade de Recursos Hídricos e Importação de Cereais (Yang <i>et al.</i> , 2003)	
Razão crítica ou razão de criticidade (Alcamo <i>et al.</i> , 2000)	
<b>Índices baseados na vulnerabilidade dos recursos hídricos</b>	
Índice de Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos ou Rácio WTA (Raskin <i>et al.</i> , 1997)	São índices que têm em consideração além da captação de água para uso doméstico, o uso industrial e o uso agrícola, permitindo assim determinar as necessidades nacionais ou regionais anuais de água (Brown e Matlock, 2011).
Índice de Sustentabilidade da Bacia Hidrográfica (Chavez e Alipaz, 2007)	
Índice de Stress no Abastecimento de Água - WSI (McNulty <i>et al.</i> , 2010)	
Indicador do Instituto Internacional de Gestão da Água ou Indicador IWMI (Seckler <i>et al.</i> , 1998)	
<b>Índices baseados nas necessidades ambientais de água</b>	
Índice de escassez hídrica – Wsci (Asheesh, 2003)	São índices que incorporam além dos usos humanos e económicos, as necessidades dos ecossistemas (uso ecológico) (Vorosmarty <i>et al.</i> , 2010).
Indicador de Stress Hídrico – WSI (Smakhtin <i>et al.</i> , 2005)	
<b>Avaliação do Ciclo de Vida e Pegada Hídrica</b>	
Avaliação do ciclo de vida (Pfister <i>et al.</i> , 2009)	São índices que incluem tanto o uso direto de água por consumidores e produtores quanto o uso indireto de água. Quantificam o volume de água doce necessário para produzir bens e serviços, incluindo toda a cadeia de fornecimento/abastecimento. Hoekstra <i>et al.</i> (2009), desenvolveram um método para calcular a escassez hídrica incorporando as pegadas hídricas verde, azul e cinza (Brown e Matlock, 2011).
Pegada Hídrica (Hoekstra, 2003; Hoekstra <i>et al.</i> , 2009)	

De acordo com Monzonís *et al* (2015), dos índices existentes, os mais comumente utilizados são: a) o Índice de Vulnerabilidade dos Recursos Hídricos (Raskin *et al.*, 1997), b) o Índice de Stress Hídrico ou Indicador de Falkenmark (Falkenmark *et al.*, 1989), c) o Indicador do Instituto Internacional de Gestão da Água (Seckler *et al.*, 1998), d) a Razão crítica ou razão de criticidade (Alcamo *et al.*, 2000) e o v) Índice de Pobreza Hídrica (Sullivan, 2002). Os motivos estão relacionados com a facilidade de obtenção de dados e consequente aplicação, e, no uso de definições intuitivas (Rijsberman, 2006).

Na tabela I.3. indicam-se as fórmulas de cálculo para determinação dos índices utilizados no presente trabalho.

**Tabela I.3** - Fórmulas de cálculo dos índices selecionados para determinar a escassez hídrica da cidade de Grândola (Monzonís, 2015; Liao, 2024).

ÍNDICE	FÓRMULA DE CÁLCULO	ESCALAS DE PONDERAÇÃO	
<b>Índice de Stress Hídrico ou Indicador de Falkenmark (Falkenmark, 1989)</b>			
IF (m <sup>3</sup> /hab/ano)	$\frac{RHD}{P} \quad (1)$ Em que: RHD – Recursos Hídricos Disponíveis; P - Número de habitantes.	≥ 1 700	Ausência de stress
		1 000 – 1 700	Stress
		500 – 1 000	Escassez
		< 500	Escassez absoluta
<b>Índice de Exploração da Água Modificado (AEA, 2012)</b>			
WEI+ (%)	$\frac{C-R}{RHD} \times 100\% \quad (2)$ Em que: C – Consumo de água total; R – Volume de efluente rejeitado pela ETAR de Grândola; RHD - Recursos Hídricos Disponíveis.	< 20	Ausência de escassez
		21 – 40	Escassez
		≥ 41	Escassez extrema

**Tabela I.4** (cont.) - Fórmulas de cálculo dos índices selecionados para determinar a escassez hídrica da cidade de Grândola (Monzonís, 2015; Liao, 2024)

ÍNDICE	FÓRMULA DE CÁLCULO	ESCALAS DE PONDERAÇÃO	
<b>Índice de Escassez de Água (Liao, 2024)</b>			
<b>WSI</b> <i>(m<sup>3</sup>/hab.dia)</i>	$\frac{RHD \times EUA \times PCDom}{N \times P} \quad (3)$ <p>Em que:                      RHD – Recursos Hídricos Disponíveis;                      EUA – Proporção da Eficiência do Uso de Água;                      PCDom – Proporção de Água utilizada para Consumo Doméstico;                      N – Número de dias;                      P – Número de habitantes.</p>	<b>&gt; 0,2</b>	Ausência de stress
		<b>0,1 – 0,2</b>	Stress
		<b>0,05 – 0,1</b>	Escassez
		<b>&lt; 0,05</b>	Escassez absoluta

## I.5. ORIGENS ALTERNATIVAS

Em termos macro, as cidades são planeadas para disponibilizar um conjunto de serviços às populações que impactuam na respetiva saúde e qualidade de vida, desde a recreação e cultura até ao saneamento básico consequentemente, importa apostar na redução do consumo de água potável. Para o efeito, é importante investir na melhoria da eficiência dos sistemas de abastecimento de água, na utilização consciente da água, e, na promoção da circularidade nas utilizações, identificando soluções regenerativas para fornecimento de água a usos não potáveis, e por isso com menores exigências em termos de qualidade.

Em Portugal, a APA (2021) indica, para aumentar a resiliência das disponibilidades hídricas das regiões, a interligações entre sistemas, a construção de novas barragens e, a utilização de origens alternativas de água, nomeadamente a ApR (Água para reutilização) e a água do mar, esta última para usos potáveis.

Algumas das principais origens alternativas de água, que estão a ser implementadas e estudadas, para aumentar a disponibilidade de água mundial são, a água do mar, a água

salobra, a água proveniente de explorações de minério, a ApR, e, a colheita de água da chuva (Liu, 2025).

### **I.5.1. Água do mar e água salobra**

É expectável que, nas próximas décadas, a dessalinização da água do mar seja uma importante fonte de água potável em países, com escassez hídrica, que margeiam oceanos e mares, em particular em regiões com rápido crescimento populacional, onde se espera um declínio adicional da disponibilidade natural de água doce devido às mudanças climáticas (Palatnik, 2019). De acordo com Curto (2021), o processo de dessalinização, presentemente, utiliza vários tipos de tecnologia para filtração e remoção dos sais dissolvidos na água do mar, contudo, além dos custos associados, a produção de salmoura acarreta graves impactes ambientais. Feng *et al* (2025) validou *in situ* que, a salinidade e a temperatura elevada impactuam negativamente as ervas marinhas, os corais, os peixes e as comunidades bentônicas perto dos locais de descarga da salmoura.

A água salobra, é água com salinidade intermédia entre a água salgada (marinha) e a água doce, isto é, com salinidade entre 5 % e 30 %. É, portanto, uma mistura de água doce com água salgada. Ocorre em ambientes diversificados, mas principalmente em estuários e lagunas, embora alguns mares sejam, também, constituídos por água salobra, a título de exemplo referem-se o Mar Báltico e o Mar Negro (APRH, sd). A tecnologia de membrana e, especificamente, a osmose inversa é a mais utilizada na dessalinização de água salobra (Al-Obaihidi, 2023).

### **I.5.2. Água proveniente de explorações de minério**

A exploração de depósitos minerais e de minério, como carvão, cobre, zinco, chumbo, caracteriza-se por um elevado consumo de água, decorrente do processo produtivo, e, da necessidade de transporte da matéria-prima, aspersão rodoviária e lavagem de equipamentos (Lima *et al*, 2025), assim como pela rejeição de grandes volumes de água proveniente da drenagem subterrânea das frentes de trabalho. Esta última, de qualidade variável, é parcialmente utilizada internamente, e, a remanescente, é rejeitada no meio

natural, contudo, após tratamento, poderá também ser utilizada noutros usos não potáveis. A título de exemplo, referem-se os estudos que estão a ser realizados nas áreas semiáridas dos Estados Unidos da América, nomeadamente na região Intermountain-West (I-WEST), que inclui o Arizona, Colorado, Utah, Montana, Wyoming e Novo México, cujo objetivo é analisar a viabilidade de utilização da água, proveniente dos processos de extração de petróleo e gás, como origem alternativa de água para fins não potáveis (Cull-Host *et al*, 2025). Para tratamento, e extração dos minérios, os processos de membrana têm vindo a ser amplamente estudados (Nthunya *et al*, 2024), sendo a qualidade desta água a questão mais sensível e que deve ser devidamente estudada por forma a acautelar impactes ambientais e na saúde pública.

No sul de Portugal, em Aljustrel e Castro Verde, onde os efeitos da seca também se fazem sentir, existem duas empresas a explorar a faixa piritosa ibérica, cuja avaliação, qualitativa e quantitativa, da água rejeitada, poderia, eventualmente, identificar um potencial de circularidade significativo. Esta situação poderá merecer uma análise mais cuidada, de forma a identificar possíveis tratamentos para prevenir impactes ambientais e na saúde pública devido à presença de metais pesados na água. Pela sua localização, em pleno perímetro urbano, a mina de Aljustrel, explorada pela empresa Almina - Minas do Alentejo, S.A., poderá ser uma opção economicamente mais viável para reduzir o consumo de água na cidade de Aljustrel, em usos não potáveis.

### **I.5.3. Água residual tratada**

Existe uma necessidade crescente de utilizar todas as formas disponíveis de água, nutrientes e energia de forma eficiente, incluindo a sua recuperação de todos os tipos de fluxos de resíduos (Rosona e Damania, 2017). A agregação dos dados disponíveis específicos por país revela que, atualmente, são produzidos anualmente, em todo o mundo, 380 mil milhões de m<sup>3</sup> de águas residuais dos quais, apenas 70 % e 8 % são tratadas em países desenvolvidos e menos desenvolvidos, respetivamente (Qadir *et al*, 2020). Sendo expeável um aumento da produção, em relação aos níveis atuais, de 24 % até 2030 e de 51 %, até 2050 (Kumar *et al*, 2024).

Além dos impactes para a saúde pública e ambiental, trata-se de uma origem alternativa de água, denominada ApR, com grande potencial de aproveitamento para usos não potáveis dos quais se destaca a agricultura, pela sua concentração de nutrientes, essenciais para as plantas.

A ApR, é a água residual tratada destinada à reutilização e que foi sujeita a tratamento adicional e necessário para alcançar uma qualidade compatível com o uso final pretendido, sem deteriorar a qualidade dos recetores (APA, 2023). A estratégia nacional, para esta origem alternativa de água, passa pela definição de um regime flexível de licenciamento e utilização, mas com mecanismos que garantam a segurança para a saúde e para o ambiente abrangendo usos não potáveis como, usos urbanos, agrícolas, florestais, industriais, paisagísticos, e, incluindo o suporte de ecossistemas (APA, 2023). Até maio de 2023, tinham sido emitidas 20 licenças, as quais perfazem uma produção máxima anual de 5 393 464 m<sup>3</sup> (APA, 2023).

A nível predial, ou de edifícios, as águas cinzentas, isto é, as águas residuais que provêm do uso doméstico sem o contributo das sanitas, e que correspondem às águas residuais produzidas nas banheiras, chuveiros, lavatórios, e, máquinas de lavar (Eriksson *et al*, 2002), representam, de modo geral, 50 % a 80 % do consumo de água numa habitação (Hussain *et al*, 2019), e, uma poupança de água potável entre 28.7 % e 34.8 %, de acordo com Ghisi e Ferreira (2007).

#### **I.5.4. Água da chuva**

A recolha e utilização de água da chuva contribui para reduzir a frequência, os picos e os volumes do escoamento urbano. Através de um design urbano sensível à água, as cidades convertem-se em cidades esponja, utilizando sistemas de drenagem sustentáveis e seguindo um modelo de desenvolvimento de baixo impacte (Campisano *et al*, 2017). Para o efeito, torna-se importante captar a água antes que esta atinja as infraestruturas de drenagem, através da sua recolha a partir das coberturas dos edifícios, garagens, terraços e varandas (Magalhães, 2013), o que contraria a abordagem tradicional, em que as águas da chuva devem apenas ser desviadas ou transportadas, através de redes de drenagem dedicadas, das áreas impermeabilizadas, onde causariam danos, até um local

de infiltração, convencionalmente uma linha de água, para serem integradas no ciclo da água. Numa perspetiva circular, as infraestruturas centralizadas são utilizadas apenas para escape ou descarga de emergência dos sistemas de aproveitamento predial.

A água da chuva pode ser usada para fins potáveis e não potáveis. De entre os usos não potáveis identificam-se: a) lavagem de veículos, b) lavagem de pavimentos, c) rega de jardins e espaços verdes, d) descargas de autoclismos e lavagem de roupas, e) sistemas AVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), f) arrefecimento de telhados, de equipamentos ou de máquinas, g) combate a incêndios e, h) reposição de água evaporada em piscinas. Em Portugal a água da chuva é normalmente utilizada na rega de espaços verdes e na limpeza de pavimentos e de veículos, sendo esta a forma de aproveitamento mais económica, porque os critérios de qualidade são menos rigorosos (ANQIP, 2022).

A qualidade da água da chuva recolhida é um parâmetro essencial, para avaliar o potencial da sua utilização, sendo os contaminantes físicos, biológicos e químicos os mais comuns. São fontes de poluição os insetos e pássaros, os materiais do telhado (metais pesados) e as poeiras, devido a deposição atmosférica (Ali *et al*, 2025). A sua qualidade é ainda influenciada pelo ambiente circundante, como indústrias contíguas e/ou árvores de grande porte, pelo nível de manutenção do sistema, pelo tempo de armazenamento e pela duração da seca anterior (Campisano *et al*, 2017) uma vez que, períodos mais longos de tempo seco estão associados a níveis mais elevados de microrganismos, devido ao aumento da deposição de dejetos na superfície do telhado. Embora se reconheça que as aves atuam como uma importante fonte de agentes patogénicos, outras fontes incluem a deposição seca de partículas, suficientemente grandes para transportar microrganismos, e a deposição húmida de partículas, durante eventos de chuva (Yaziz *et al.*, 1989).

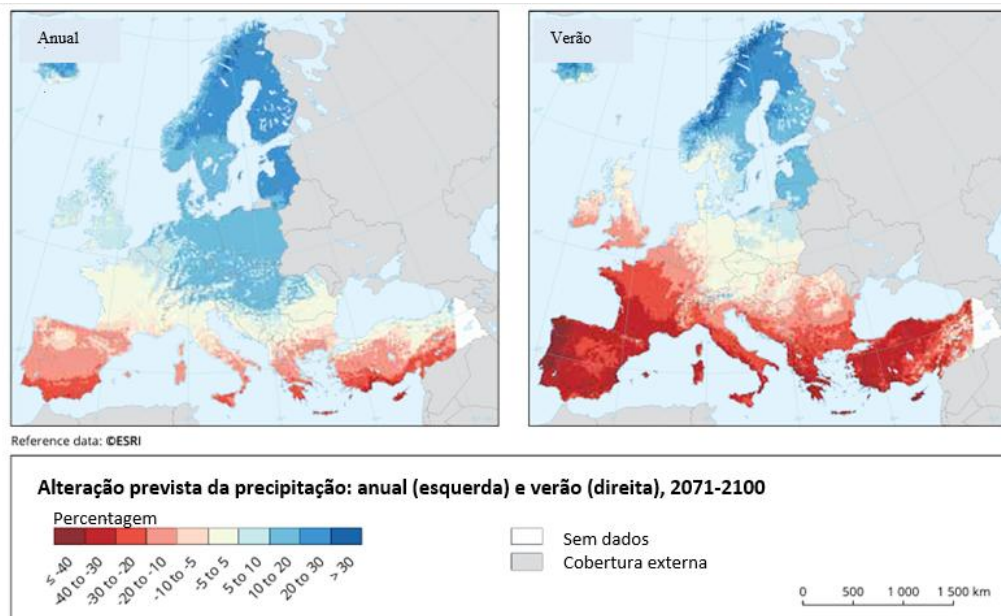
A qualidade microbiana da água da chuva recolhida é um fator importante que afeta as possibilidades de utilização, dependendo as populações microbianas das condições meteorológicas (por exemplo, velocidade e direção do vento, regime de eventos pluviométricos), existência de primeira descarga (first flush) e do tipo de vida selvagem que pode entrar em contacto com a superfície de recolha. Consequentemente,

previamente as quaisquer utilizações deverão ser recolhidas amostras de água da chuva para caracterização e quantificação dos poluentes existentes, prevenindo assim impactes ambientais e na saúde pública, decorrentes da sua utilização.

Para melhoria da qualidade da água podem ser implementados tratamentos pré-armazenamento e pós-armazenamento, além do desvio da primeira descarga (first flush). A título de exemplo, referem-se processos de coagulação-floculação e de desinfecção. O volume definido para o first flush, é de extrema importância, devendo ser ajustado às condições locais, em termos de poluição atmosférica e tempo de precipitação.

Os SAAC (sistemas de aproveitamento de água da chuva) são constituídos por quatro elementos funcionais principais: recolha, tratamento, armazenamento e distribuição, podendo ocorrer uma redução de custos se a distribuição for gravítica. Nesta origem alternativa, a etapa de recolha é muito importante, porque quanto maior a área de colheita, mais água da chuva será captada para utilização (Campisano *et al*, 2017).

O maior inconveniente à utilização da água da chuva, em Portugal, é a sua sazonalidade e as previsões futuras de insuficiência (Figura 3), em oposição, a sua maior vantagem é a proximidade aos pontos de utilização, tornando a sua implementação viável em espaço urbano, onde pela elevada área impermeabilizada há necessidade de reduzir o escoamento superficial.



**Figura 3** – Projeção de variação na precipitação anual (esquerda) e de Verão (direita) em toda a Europa para o período 2017-2100 (em comparação com a média de 1971-2000) (AEA, 2021).

Não sendo suficiente para suprimir as necessidades não potáveis ao longo do ano, de uma cidade, contribuem para reduzir a dependência das origens potáveis, e, uma análise caso-a-caso, identificará outras origens alternativas que conjuntamente, potenciarão a eficiência na utilização do recurso sem competir com os usos que obrigatoriamente requerem água potável. Permitindo assim manter consumos, considerados menos nobres, como a rega de espaços verdes. No sul de Portugal, com o agravamento da disponibilidade do recurso, tem-se adotado, durante o Verão o procedimento de reduzir ou mesmo interromper parcial ou totalmente o fornecimento de água aos espaços verdes. Esta medida tem resultado na perda de espécies vegetais, comprometendo o equilíbrio ecológico existente nesses locais, e, afetando os serviços ecossistémicos por eles providos à população.

### I.5.5. Água descartada de piscinas

Em qualquer piscina, o elemento fundamental é o tanque de natação, onde a água se encontra armazenada. Este tanque é projetado para minimizar os riscos à saúde dos utilizadores decorrentes da exposição a uma ampla variedade de poluentes de natureza microbiológica e química, introduzidos tanto pelos próprios utilizadores como pelo

ambiente envolvente. Para esse efeito, a água é ainda submetida a tratamentos físico-químicos e a constante circulação e renovação (Faria, 2012). Destaca-se, neste contexto, o requisito 5.4 da norma NP 4542:2017, que estabelece, como meio complementar de regeneração da água das piscinas, a necessidade de uma reposição diária mínima de 30 L/banhista.dia, com um mínimo absoluto correspondente a 2 % do volume total da piscina.

A totalidade da água em recirculação nas piscinas é recolhida através de caleiras e, posteriormente, conduzida diretamente para tanques de compensação. Estes tanques, recebem a água recolhida à superfície pelas caleiras e evitam que a água deslocada pela entrada de utilizadores na piscina transborde e se perca para a rede predial de drenagem. Além disso, funcionam como tanque de desconexão da rede de alimentação, e devem comportar as reservas necessárias para a imediata reposição da água perdida nas lavagens dos filtros (Faria, 2012).

Quando os tanques de compensação e os tanques de natação estão cheios, o circuito hidráulico passa a ser um sistema fechado, fazendo-se a admissão de água, a partir da rede pública, apenas para compensar as perdas de água resultantes da lavagem dos filtros, da renovação/regeneração de água ou de reposições de emergência.

A totalidade da água descartada é encaminhada para a rede de águas residuais urbanas mas, no país começam a surgir vários projetos para sua reutilização em usos não potáveis. Estes projetos consistem basicamente na instalação de depósitos, para o armazenamento da água, com ou sem arejamento e, sempre que possível, recorrendo à gravidade. A título de exemplo, referem-se as Piscinas Municipais de Quarteira – Loulé.

A utilização desta origem alternativa de água implica a monitorização da concentração de desinfetante residual e da oxidabilidade. A presença de desinfetante residual pode inibir o crescimento das espécies a regar, causar queimaduras nas folhas, reduzir a capacidade fotossintética das plantas e, ainda, prejudicar a fertilidade do solo. A oxidabilidade é um parâmetro importante para avaliar a presença de matéria orgânica na água, bem como de outros compostos que podem ser oxidados. Esta avaliação é crucial para evitar a formação de Trihalometanos, que são subprodutos da desinfecção e estão

associados a potenciais efeitos carcinogênicos. A concentração desses compostos no aquífero pode aumentar devido à presença de desinfetante residual, o que torna necessária uma gestão cuidadosa desta água.

## I.6. CASO DE ESTUDO

### I.6.1. Caraterização da cidade caso de estudo

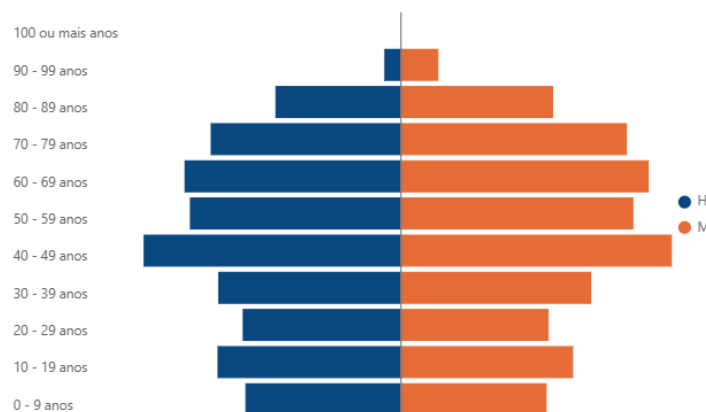
#### I.6.1.1 Caraterização socioeconómica

Grândola (Figura 4) é uma cidade portuguesa pertencente ao distrito de Setúbal, sede do concelho de Grândola, pertencente à União das freguesias de Grândola e Santa Margarida da Serra, região NUTS II do Alentejo e sub-região NUTS III do Alentejo Litoral. De acordo com os CENSOS, a união de freguesias possui 10 302 habitantes (INE, 2021), cuja tendência é para aumentar devido ao elevado investimento no setor do turismo que vem ocorrendo nos últimos anos, no Concelho e, à sua localização privilegiada relativamente ao Porto de Sines e a infraestruturas viárias, e ferroviária, que facilitam rápido acesso às principais cidades do país e da Europa.



**Figura 4** - Cidade de Grândola. a) Localização geográfica (wikipédia,2023); b) Perímetro urbano (PUG, 2021).

Cerca de 41 % dos habitantes de Grândola possuem entre 40 e 69 anos e 38 % está abaixo dos 39 anos (Figura 5) (INE, 2021). O setor primário, através da agricultura e pecuária, é o setor com maior peso na cidade, contudo, é o setor terciário que contribui com mais empregos. Deste, o comércio é a principal atividade, representando isoladamente mais de 60 % das empresas e do volume de negócios e mais de metade do emprego no sector. As empresas de alojamento e restauração e similares empregam 35 % da população, constituindo também um subsector de relativa importância (CMG, sd).



**Figura 5** – Distribuição etária da população residente na União de Freguesias de Grândola e Santa Margarida da Serra (INE, 2021).

Em 2021, de acordo com os CENSOS, em todo o Concelho, existiam apenas 2 166 desempregados.

#### I.6.1.2 Caraterização ambiental e climática

O concelho de Grândola tem uma área aproximada de 825.9 km<sup>2</sup>, caracterizando-se, em termos geológicos, por três grandes zonas, a serra de Grândola, a planície e a faixa litoral, que apresentam marcadas diferenças na composição do solo, no relevo, na flora e na paisagem em geral (CMG, sd).

O ponto mais elevado, com 326 m, é a Serra de Grândola, a qual se prolonga até ao Concelho de Santiago do Cacém e, é uma das componentes naturais mais importantes da cidade, influenciando o seu clima uma vez que, diferente da maior parte das serras

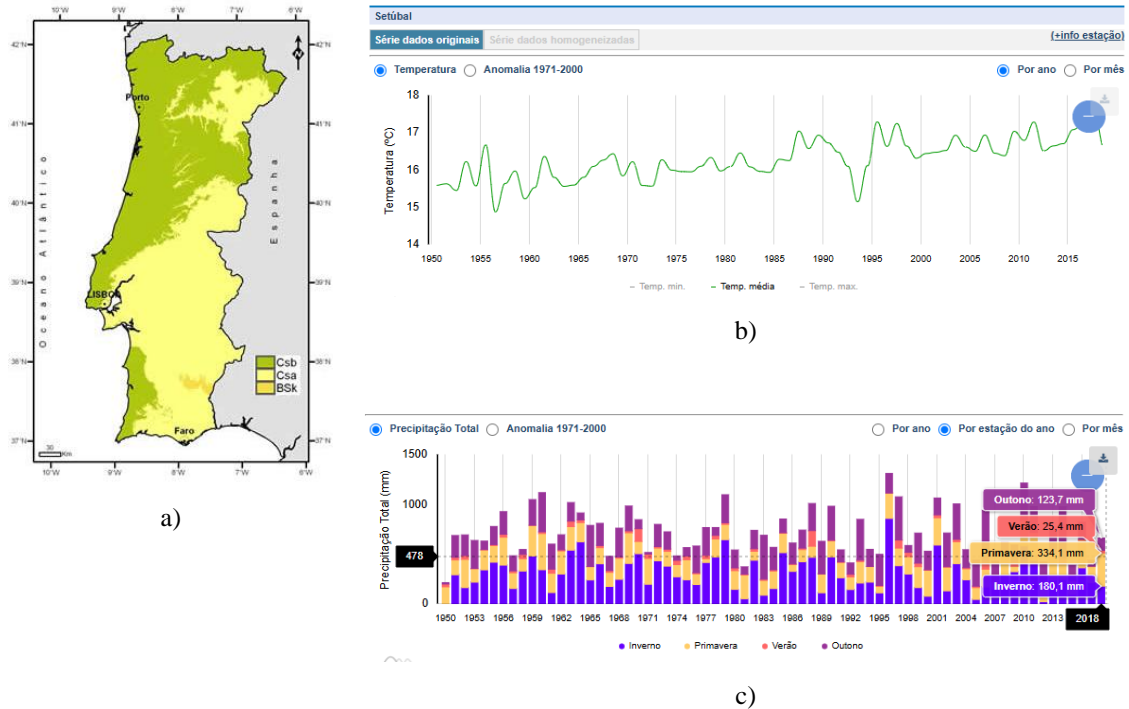
portuguesas, oblíquas à costa, esta é paralela, o que dificulta a penetração do ar marítimo, embora contribua para a condensação das nuvens (CMG, sd).

O seu principal curso de água – a ribeira de Grândola ou rio Davino – de margens arborizadas, a qual tem origem na Serra de Grândola e, percorre um vale de vertentes dissimétricas, desaguando ao fim de 30 km no Rio Sado. O seu principal afluente é a Ribeira de Castelhanos. De referir que, ambas as ribeiras permanecem em grande parte secas durante o Verão, mantendo apenas água em alguns pegos (CMG, sd).

A cidade de Grândola assenta na planície, com características de charneca, terreno plano, levemente ondulado e com declives suaves, que em termos geológicos se enquadra nas formações terciárias da bacia do Sado constituídas essencialmente por areias e argilas do Pliocénico (CMG, sd).

A vegetação predominante é composta por pinheiros (manso e bravo), sobreiros, mato branco, tojo e rosmaninho e, nas hortas e quintas predominam a laranjeira, a oliveira e outras árvores de fruto e culturas de regadio (CMG, sd).

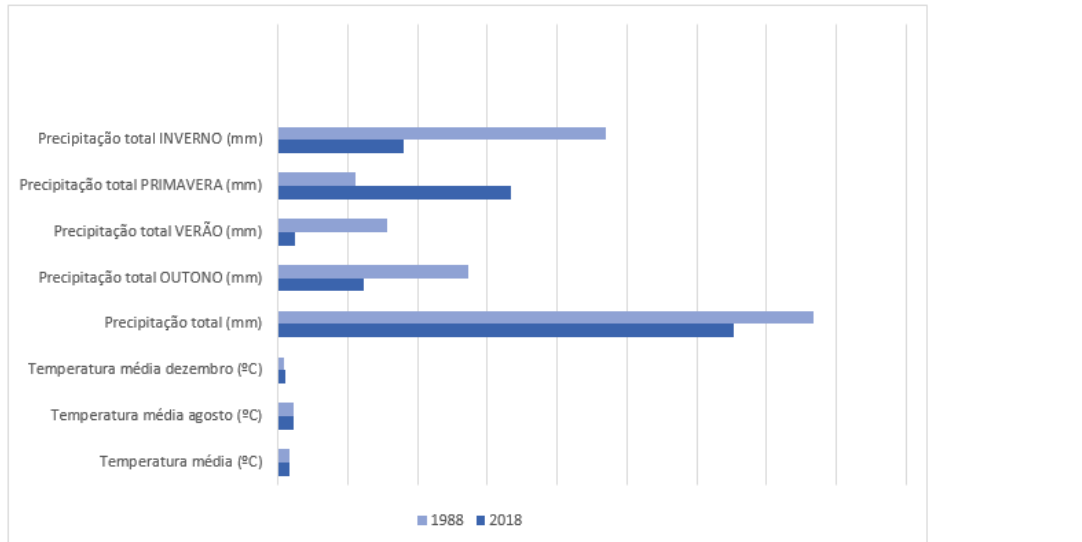
De acordo com a informação constante na Figura 6, a cidade possui um clima temperado com verão quente e seco (Csa). Considerando os dados disponíveis em 2018, para Setúbal, a temperatura média foi 16.7 °C, em agosto 25.3 °C e em dezembro 11.65 °C, com um total de precipitação anual de 642.5 mm, informação esta que se considera atual e válida para Grândola (IPMA, 2025).



**Figura 6 -** Caraterização climatológica de Grândola. a) Classificação climática de Koppen (IPMA, 2025); b) Dados de temperatura (IPMA, 2025); c) Dados de precipitação (IPMA, 2025).

Recuando 30 anos, verifica-se presentemente uma diminuição da precipitação (Figura 7) e um aumento das temperaturas mínimas pelo que, futuramente, devido às alterações climáticas, é expectável que esta tendência se agrave. De referir que, de acordo com dados fornecidos pelo IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera), o Concelho de Grândola encontrava-se em seca moderada em dezembro de 2024, situação contrariada a partir de fevereiro de 2025 devido à chuva fraca e chuva severa que se fez sentir em março e abril.

Ano	Temperatura média (°C)	Temperatura média agosto (°C)	Temperatura média dezembro (°C)	Precipitação total (mm)	Precipitação total OUTONO (mm)	Precipitação total VERÃO (mm)	Precipitação total PRIMAVERA (mm)	Precipitação total INVERNO (mm)
2018	16.39	22.81	10.46	653.3	123.7	25.4	334.1	180.1
1988	16.58	23.11	9.5	768.1	272.7	156.5	111.8	470.0



**Figura 7** - Evolução climatológica de Grândola nos últimos 30 anos (IPMA, 2025).

Por sua vez, a diminuição do período de chuva irá conduzir à desertificação, segundo a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, o termo está relacionado com a degradação do solo em zonas áridas, semi-áridas e sub-húmidas, resultantes de fatores como as alterações climáticas e atividades humanas, onde se inclui a erosão do solo. Quando a degradação do solo acontece em terras secas, criam-se geralmente condições desérticas (Charrua, 2014). Considerando a predominância do setor primário na economia de Grândola esta situação terá graves impactes na riqueza das famílias, além dos impactes ambientais associados.

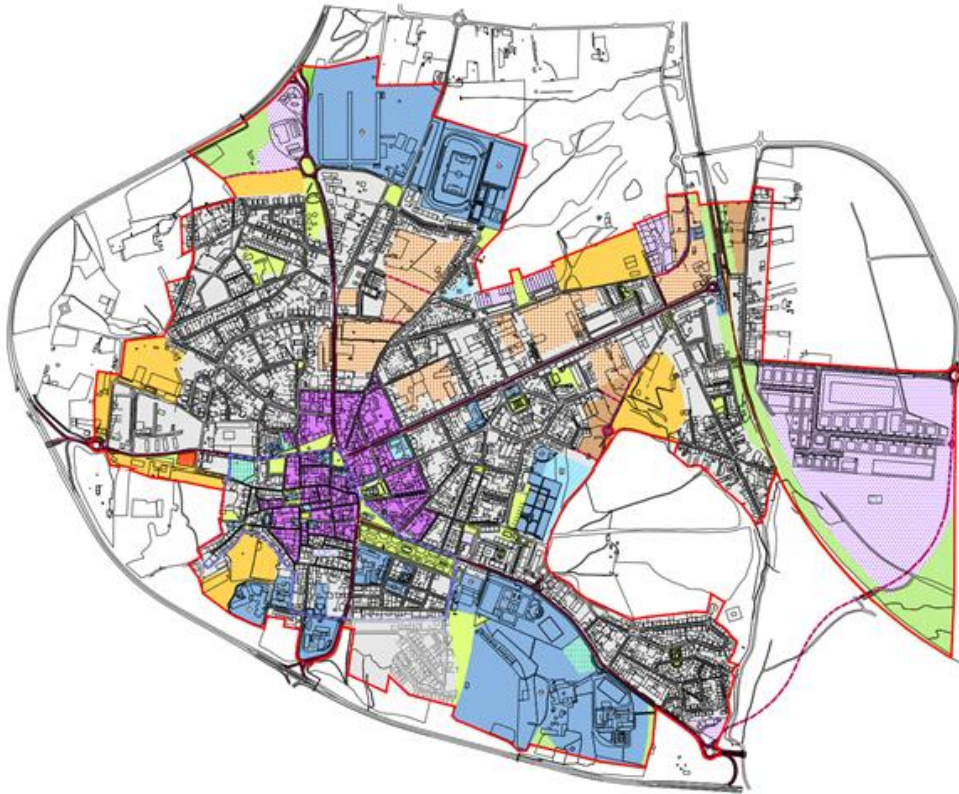
Considera-se que ocorre uma onda de calor quando num intervalo de pelo menos 6 dias consecutivos, a temperatura máxima diária é superior em 5 °C ao valor médio diário no período de referência. Em 2023, foram registados 12 dias de ondas de calor em Setúbal e Alcácer do Sal pelo que, se admite que Grândola sofreu o mesmo fenómeno, em 1993 e 1988 ocorreram 0 ondas de calor (IPMA, 2025). Consequentemente, é exetável o aumento do número de ondas de calor e com isso o aumento do desconforto térmico sentido potenciado pelo efeito ilha de calor. Presentemente, no Verão a temperatura atinge facilmente valores superiores a 32 °C, cessando a circulação pedonal durante o

período da manhã a partir das 11h00, retomado apenas cerca das 17h00 da tarde, com exceção do Jardim 1º de Maio onde existem sempre pessoas.

Na proximidade da cidade, a Ribeira de Grândola, encontra-se suficientemente afastada da edificação para que quaisquer inundações não tenham impacte significativo no meio urbano consequentemente, quaisquer constrangimentos, a ocorrer, serão devido à incapacidade de resposta por parte do sistema infraestrutural existente em caso de chuvas torrenciais (fenómenos extremos), e, os alvéolos de água existentes no interior do espaço urbano que foram parcialmente anulados ou entubados sem critério técnico.

#### I.6.1.3 Caraterização ecológica

A estrutura ecológica existente, destacada a verde na Figura 8, constitui, de acordo com o Plano de Urbanização de Grândola, uma rede de espaços de solo maioritariamente permeável, que se destina à salvaguarda do enquadramento paisagístico e ambiental da área urbana e à preservação dos solos e do coberto vegetal, bem como a desempenhar funções de apoio ao recreio e lazer da população. É classificada em: a) Espaços Verdes de Proteção e Enquadramento (EVPE) e, b) Espaços Verdes de Recreio e Lazer (EVRL).



**Figura 8** - Planta de zonamentos: a) Espaços Verdes de Proteção e Enquadramento (verde escuro); b) Espaços Verdes de Recreio e Lazer (verde claro) (PUG, 2021).

Os EVPE correspondem às áreas mais sensíveis do ponto de vista biofísico ou de enquadramento paisagístico pelo que, a sua salvaguarda e preservação deve ser promovida e assegurada. Os EVRL correspondem às zonas verdes equipadas e infraestruturadas que se destinam predominantemente a uma utilização de recreio e lazer da população para atividades de entretenimento e estadia ao ar livre.

Os espaços verdes analisados na presente dissertação estão todos classificados como Espaços Verdes de Recreio e Lazer.

### **I.6.2. A água em Grândola**

O Município de Grândola é a Entidade Titular que, nos termos da lei, tem por atribuição assegurar a provisão do serviço de abastecimento público de água no respetivo território, sendo ainda, em toda a área do Município, a Entidade Gestora responsável pela conceção, construção e exploração do sistema público de abastecimento de água, com exceção da Área de Desenvolvimento Turístico de Tróia, onde delegou essas responsabilidades a uma empresa municipal (Regulamento n.º 631/2017 de 20 de dezembro de 2017).

Em 01/01/2010, os SAA (sistemas de abastecimento de água) e SAR (saneamento de águas residuais) do Concelho, ao abrigo do contrato de parceria com o Estado português, transitaram na vertente alta para a responsabilidade da AgdA (Águas Públicas do Alentejo). Presentemente, a CMG (Câmara Municipal de Grândola) opera 11 SAA na vertente em baixa e, 2 sistemas na vertente alta e baixa, enquanto que, no SAR opera 9 sistemas na vertente baixa e 9 sistemas na vertente alta e baixa, num total de 6 972 alojamentos servidos, na componente do AA (abastecimento de água), e, 6 171 alojamentos servidos, na componente do SAR (ERSAR, 2024), sendo considerada, pela ERSAR (Entidade Reguladora de Águas e Resíduos), uma entidade gestora em baixa. De acordo com os dados validados pela ERSAR (2024), em 2023, a rede de distribuição de água tinha 207.2 km de extensão e, 12 276 ramais de ligação, enquanto que, a rede de saneamento de águas residuais urbanas de Grândola tinha 122.6 km de extensão e, 5 914 ramais de ligação. A CMG opera ainda 739 fossas sépticas estanques.

Na cidade de Grândola, a CMG gere os sistemas em baixa tanto de AA como de SAR, sendo de salientar que, este último é do tipo separativo pelo que, às responsabilidades já listadas acresce a conceção, manutenção e operação da rede de drenagem de águas pluviais e seus constituintes.

## I.7. OBJETIVO

O objetivo geral deste trabalho é contribuir para um novo paradigma do CUA (ciclo urbano da água), através da incorporação de origens alternativas de água numa lógica de proximidade e para usos não potáveis. Estudar outras origens de água para rega dos espaços verdes urbanos, de forma a contribuir o menos possível para o consumo de água potável, e, garantir os serviços ecossistémicos para melhorar a resiliência climática desta cidade de Grândola, extrapolando para outras cidades do Mediterrâneo. Utilizar soluções baseadas na natureza para melhorar o comportamento térmico do ambiente urbano, contribuir para o sequestro de C e de poluentes atmosféricos. Será utilizado como caso de estudo Grândola, uma cidade do sul de Portugal, na região do Alentejo.

Os objetivos específicos desta dissertação são:

- a) Caracterização do atual CUA em Grândola;
- b) Quantificação da escassez de água em Grândola, utilizando 3 Índices de Escassez Hídrica, no cenário do atual CUA e no cenário proposto para maior resiliência hídrica;
- c) Estudo da viabilidade da utilização de origens locais alternativas de água para usos não potáveis e do seu impacto na escassez hídrica em Grândola;
- d) Caracterização dos principais espaços verdes (espécies vegetais e densidade relativa) da cidade e estimativa dos respetivos serviços ecossistémicos;
- e) Definição de uma estratégia para melhorar a resiliência climática de Grândola através da integração de origens alternativas de água e com base nos pressupostos anteriores.

## II. METODOLOGIA

### II.1. PERÍODO DO ESTUDO

Este trabalho analisou 11 anos de dados, compreendidos entre 2013 e 2023, considerando que:

- a) É um intervalo representativo de situações anómalas como por exemplo perdas de água nos sistemas de água, e ausência ou avaria metrológica de contadores;
- b) O período em análise, foi alvo de uma reestruturação profunda no Setor das Águas. Em termos de legislação houve um aumento do volume e do detalhe da informação recolhida pela CMG, para cálculo dos indicadores e métricas de desempenho, a fornecer à ERSAR.

Na análise demográfica, considerou-se os dados dos CENSOS de 2011 e de 2021, que são os mais aproximados do período anteriormente referido.

## II.2. RECOLHA DE INFORMAÇÃO SOBRE O CUA

A informação necessária ao desenvolvimento deste trabalho foi obtida com base na recolha de diversos tipos de dados.

### II.2.1 Caraterização do CUA da cidade e dos índices de escassez hídrica

Pretendeu-se caraterizar o CUA para avaliar os recursos hídricos disponíveis, para usos potáveis e não potáveis, na cidade de Grândola através da:

- a) Recolha de informação para elaboração do CUA da cidade recorrendo a informação disponibilizada pela APA (Agência Portuguesa do Ambiente), pelo IPMA, pelas EG (entidades gestoras) e pela ERSAR;
- b) Recolha de informação para caraterização das infraestruturas urbanas de captação, recolha, tratamento, reserva e transporte de água existentes na cidade, na vertente em baixa e em alta, recorrendo a informação disponibilizada pelas entidades gestoras.

Foram contabilizados 114 ramais de fornecimento de água ativos, de edifícios públicos e espaços verdes, cujo utilizador é a Câmara Municipal de Grândola, agrupados de acordo com as caraterísticas que se indicam:

- são 37 ramais que correspondem a edifícios afetos à administração pública municipal, os quais incluem o edifício dos Paços do Concelho, os edifícios que albergam os

escritórios e oficinas das diferentes unidades orgânicas de gestão territorial, e, o refeitório gerido pela Associação Sócio Cultural dos Trabalhadores da Câmara Municipal;

- são 19 ramais que correspondem a edifícios afetos à prestação de serviços aos munícipes, a título de exemplo referem-se o mercado municipal, os serviços fúnebres e museológicos, o gabinete de psicologia, os cuidados veterinários, e, a recreação e lazer, onde se enquadram o Parque Desportivo Municipal, o Complexo Desportivo José Afonso, o Auditório Municipal Cine Granadeiro e, o Centro de Recolha Animal;

- são 5 ramais que correspondem a estabelecimentos de ensino, cuja gestão é de responsabilidade municipal, nomeadamente os edifícios do parque escolar compreendido entre o ensino pré-escolar e o ensino secundário;

- são 53 ramais que correspondem a jardins.

De referir que, não foram contabilizados os ramais dos bebedouros públicos e dos marcos-de-incêndio por se considerar que não existe potencial de circularidade associado.

c) Quantificação do Índice de Escassez Hídrica da cidade, de acordo com as especificidades locais ao nível de clima e socio economia, origens tradicionais, eficiência no uso e, incorporação de origens alternativas, para fins não potáveis, para perceber qual a disponibilidade do recurso com vista a melhorar o planeamento urbano da cidade. Para o efeito, foram utilizadas três fórmulas de cálculo, nomeadamente o:

c.1) Índice de Stress Hídrico ou Indicador de Falkenmark (Falkenmark,1989), por ter sido a primeira métrica a ser desenvolvida;

c.2) Índice de Exploração da Água Modificado (EEA, 2012), por ser o recomendado pelas entidades europeias ambientais de referência;

c.3) Índice de Escassez de Água (Liao, 2024), por se tratar de um índice mais recente que tem em consideração as perdas de água na rede de distribuição, além do consumo, para quantificação da escassez de água.

### II.3. ORIGENS ALTERNATIVAS DE ÁGUA NÃO POTÁVEL

Procedeu-se ao estudo da viabilidade da utilização de origens locais alternativas de água para usos não potáveis e do seu impacte na escassez hídrica em Grândola. Atendendo aos consumos para usos externos não potáveis (rega de espaços verdes e limpeza e higiene urbana) foi quantificado o volume de água da chuva captada nos principais edifícios públicos em Grândola e de água descartada semanalmente pelas piscinas municipais, uma vez que se consideraram as possíveis origens alternativas de maior proximidade.

### II.4. RECOLHA DA INFORMAÇÃO SOBRE OS ESPAÇOS VERDES

Foi feita a caracterização dos principais espaços verdes da cidade e estimativa dos respetivos serviços ecossistémicos por eles disponibilizados, fundamentais para a qualidade de vida da comunidade local e para a resiliência climática da cidade, através:

- a) Utilização da informação disponível na CMG, na Divisão de Ambiente e Saneamento;
- b) Identificação e contabilização do número de exemplares das espécies arbóreas presentes nos espaços verdes caracterizados, através de visitas de campo;
- c) Realização de medições (*in situ*), com recurso a fita métrica e, a um hipsómetro da marca Haglof, modelo Vertex 5. Para estimar os serviços ecossistémicos disponibilizados pelas árvores presentes nos espaços verdes, foi utilizado um modelo já validado cientificamente, o i-Tree ECO, versão 6 (<https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco>);
- d) Análise crítica da informação e dos resultados obtidos, com vista à definição de uma estratégia para os espaços verdes promotora de resiliência climática, e integrando origens alternativas de água para rega, assegurando os respetivos serviços ecossistémicos sem aumentar o consumo de água potável, potenciando a circularidade da água e fornecendo bases para um planeamento urbano mais sustentável e potenciador de uma socio economia mais circular.

## II.5. TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO RECOLHIDA

Os dados recolhidos foram analisados e cruzados nas suas diversas dimensões de forma a permitirem servir de instrumento para a incorporação de origens alternativas de água nos usos externos da cidade de Grândola, nomeadamente para se manter espaços verdes, fundamentais em termos de resiliência climática e qualidade de vida das pessoas.

## III. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### III.1. CARATERIZAÇÃO DO CICLO URBANO DA ÁGUA EM GRÂNDOLA

#### III.1.1. Descrição dos sistemas

O SAA de Grândola é exclusivamente assegurado por captações subterrâneas, doravante origem convencional, num total de 9 captações. Os campos de furos localizam-se no Concelho de Grândola (Herdade do Borbolegão) e no Concelho de Alcácer do Sal (Mata de Vale Verde).

A água captada tem dois circuitos distintos, o circuito do Borbolegão e o circuito do Pedrogão: a) Circuito do Borbolegão: a água captada é encaminhada para um reservatório de regularização à bombagem com 250 m<sup>3</sup> de capacidade e daí é elevada para Grândola através de 2+1 grupos elevatórios, utilizando uma conduta em fibrocimento, existente ao longo do IC1, com diâmetro DN 200 mm. De referir que, esta conduta abastece em percurso dois aglomerados populacionais, Paragem Nova e Bairro da Linha; b) Circuito do Pedrogão: a água captada é encaminhada para um reservatório de regularização à bombagem com 2×200 m<sup>3</sup> (Reservatório da Mata) e daí é elevada para o reservatório do Pedrogão com 2×800 m<sup>3</sup> de capacidade. O transporte de água a partir do reservatório do Pedrogão até Grândola é gravítico fazendo-se a ligação à conduta existente, de fibrocimento DN 175 mm, na zona de Vale Gamito (Concelho de Grândola). A água extraída na Mata de Vale Verde para além da cidade de Grândola é ainda encaminhada para as localidades de Castelo Ventoso, Foros de Albergaria, Quintinha e Forno da Cal, pertencentes ao concelho de Alcácer do Sal.

Junto à entrada noroeste de Grândola, as condutas de DN 175 mm e DN 200 mm unem-se, e, a adução passa a DN 315 mm até um complexo de reservatórios apoiados, de regularização à bombagem, com  $3 \times 500 \text{ m}^3$  de capacidade, os quais constituem as reservas da cidade, garantindo-se o fornecimento de água através de uma célula elevada com  $400 \text{ m}^3$  de capacidade, com o apoio de 2+1 grupos elevatórios. A estação elevatória associada ao circuito do Borbolegão, e, a do complexo de reservatórios de Grândola possuem grupos eletrogéneos.

Relativamente ao tratamento da água distribuída, existem duas ETA's (estações de tratamento de água), na Herdade do Borbolegão e na Mata de Vale Verde. A ETA do Borbolegão é constituída por duas etapas de tratamento, ajuste de pH (sazonal) e desinfecção, com recurso à injeção de preparação química, enquanto que, na Mata de Vale Verde existe apenas um posto de cloragem, para garantir a desinfecção da água. É utilizado Hipoclorito de Sódio na desinfecção.

O sistema de drenagem e tratamento de águas residuais de Grândola, na vertente alta, compreende 3 EEAR (estação elevatória de águas residuais) (EEAR do Isaías, EEAR das Amoreiras e EEAR das Fontainhas), e, uma ETAR (estação de tratamento de águas residuais) inaugurada em 31/05/2021. A ETAR é constituída por 2 linhas de tratamento, líquida e sólida, e, foi dimensionada para dar resposta a um equivalente populacional de 9 000 hab.eq, acrescidos de 450 hab.eq provenientes de efluentes de fossas sépticas, oriundos de habitações dispersas no Concelho (AgdA, 2017).

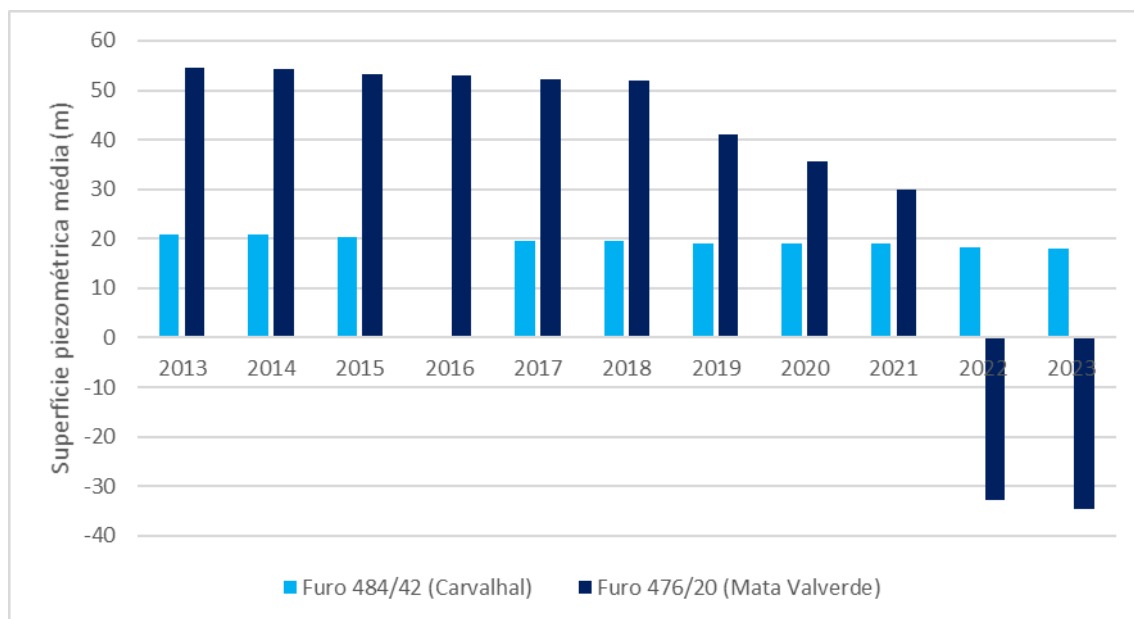
A linha líquida compreende um sistema de lamas ativadas, operado em regime de arejamento prolongado, em reator de funcionamento contínuo, precedido de pré-tratamento constituído pelas etapas de tamisação, desarenamento e remoção de gorduras. A última etapa da linha líquida do tratamento é para produção de água de serviço, a partir do efluente tratado e inclui, filtração, desinfecção, através da adição de hipoclorito de sódio, e, armazenamento em reservatório próprio, coberto, em PRFV (plástico reforçado com fibra de vidro) com  $10 \text{ m}^3$  de capacidade (AgdA, 2017).

O tratamento da fase sólida é constituído por uma etapa de espessamento gravítico das lamas em excesso produzidas na instalação, armazenamento e mistura de lamas espessadas (produzidas na instalação e provenientes de outras ETAR), seguido de desidratação mecânica por centrifugação, com armazenamento das lamas desidratadas em silo. A ETAR é ainda provida de uma instalação de receção e pré-tratamento de efluentes provenientes de fossas sépticas, constituída por tamização, desarenamento, equalização e bombagem a caudal controlado para a fase líquida (AgdA, 2017).

Atendendo a que, toda a água residual produzida na cidade carece de elevação para chegar à ETAR, é de todo desejável mitigar a ocorrência de aflúências indevidas no sistema (mistura com águas pluviais) as quais, contribuem para a diminuição da eficiência de tratamentos, para o aumento dos custos de operação e manutenção e, para o agravamento dos impactes ambientais e sociais decorrentes de situações de emergência motivadas por fenómenos climáticos extremos. Consequentemente, a recolha de água da chuva para fins não potáveis e a implementação de soluções baseadas na natureza, para atrasar a chegada do volume remanescente de água às infraestruturas de drenagem, assim como a garantia ininterrupta de funcionamento das EEAR são consideradas medidas fulcrais para otimizar o CUA em Grândola.

### III.1.2. Consumos municipais e produção de águas residuais

Para avaliar a evolução local do aquífero, durante o período em estudo, foi consultada a informação, disponível no site do SNIRH (Sistema Nacional de Informação sobre Recursos Hídricos), relativa à superfície piezométrica média das captações de água. Destas, selecionaram-se as localizadas na proximidade dos campos de furo responsáveis pelo abastecimento de água à cidade: Mata de Vale Verde (Concelho de Alcácer do Sal) e Carvalhal (Concelho de Grândola). A análise da Figura 9 permite identificar uma descida contínua da superfície piezométrica média nestas captações.



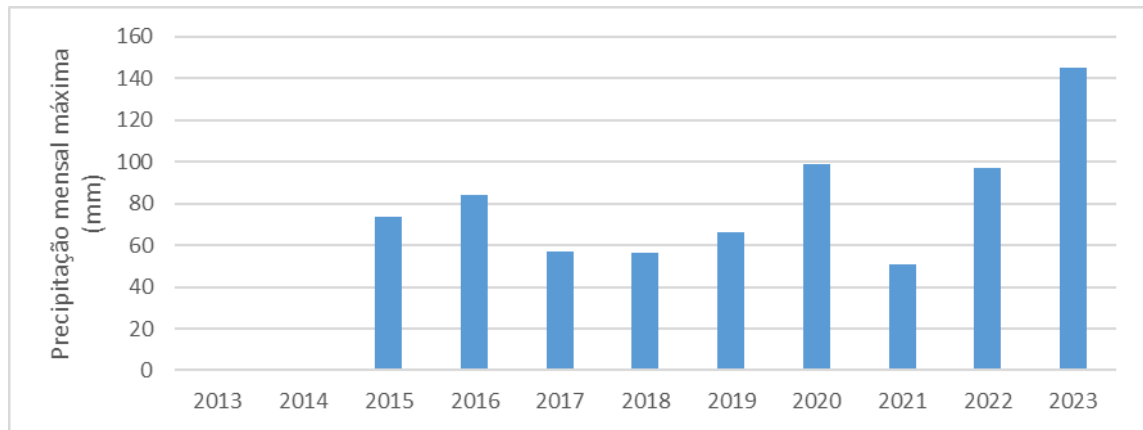
**Figura 9** – Evolução da superfície piezométrica do aquífero Bacia do Tejo-Sado/margem esquerda na zona e no período em estudo (IPMA, 2025).

Na captação do Carvalhal, a descida mais significativa foi em 2022 quando o rebaixamento da superfície piezométrica média da captação foi de 75 cm comparativamente a 2021. A perda total neste período de 11 anos foi de 2.86 m, cerca de 26 cm/ano. A captação na Mata de Vale Verde sofreu a descida mais significativa entre o ano 2021 e 2022, quando o rebaixamento da superfície média da captação foi de 10.87 m. No entanto, no período em estudo o rebaixamento foi de cerca de 90 m.

O furo da Mata de Valverde apresenta um rebaixamento acentuado e progressivo da superfície piezométrica, passando de valores positivos para negativos, o que sugere uma situação de sobreexploração e risco elevado de intrusão salina. O furo do Carvalhal mantém valores positivos, com uma descida mais gradual. Estes dados indicam que, apesar de ambos apresentarem tendência descendente, o aquífero na Mata Valverde está em situação crítica, necessitando de medidas urgentes de gestão e monitorização, enquanto que o aquífero de Carvalhal, embora sob pressão, ainda apresenta algum grau de sustentabilidade. Esta situação é alarmante uma vez que, toda a água distribuída a Grândola é de origem subterrânea.

Considerando a série de dados do IPMA para o período em estudo (Figura 10) ainda que a precipitação mensal tenha tido significativa em 2023, pode não ter sido suficiente para

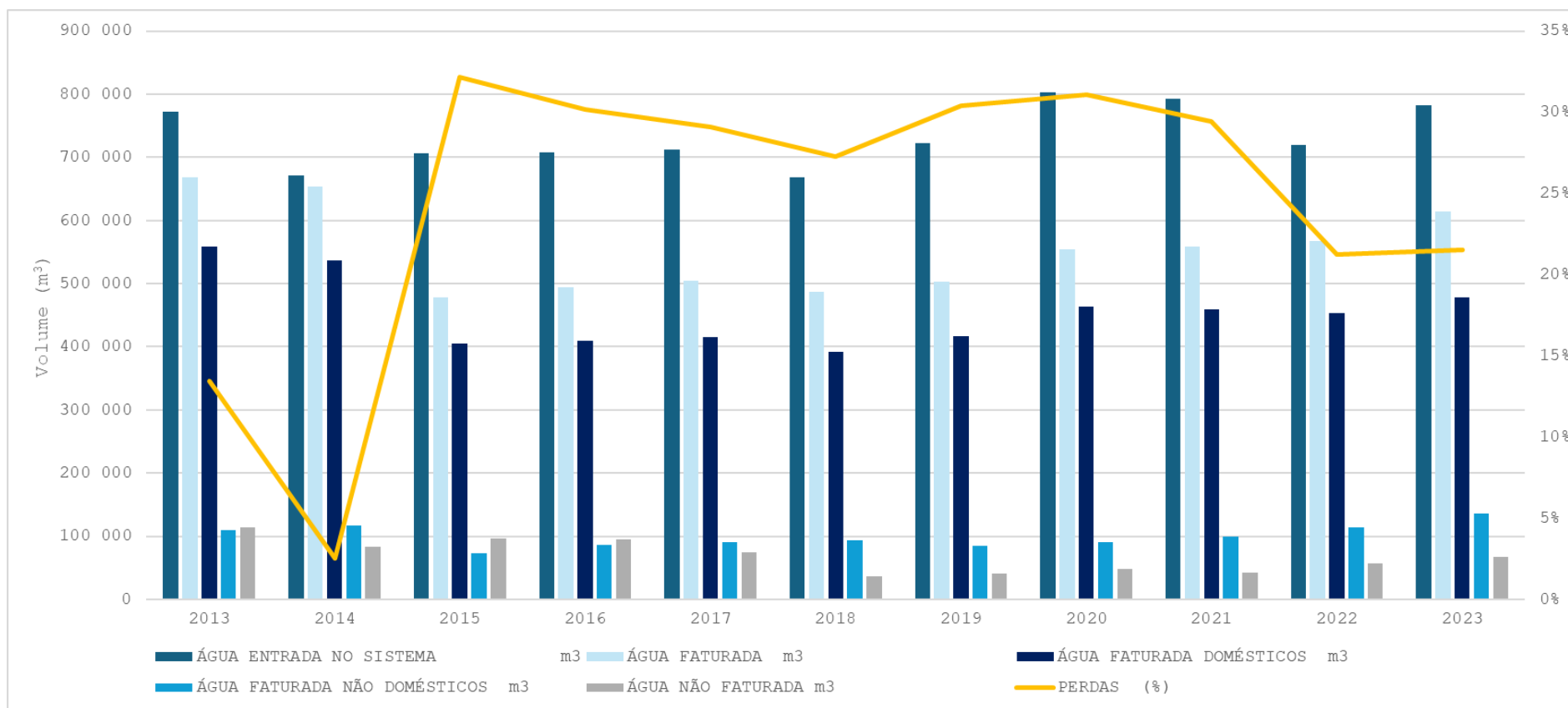
permitir a recuperação dos aquíferos face à procura. Consequentemente, e conhecendo a envolvente, os dados poderão refletir um conjunto de causas que estão a contribuir para o stress hídrico: alterações climáticas e a sobreexploração.



**Figura 10** - Precipitação mensal máxima em Grândola no período em estudo (IPMA, 2025).

A origem convencional, foi responsável pelo fornecimento de  $8.06 \text{ hm}^3$  ( $2\,035 \text{ m}^3/\text{dia}$ ) de água, na cidade de Grândola, no período em estudo, de acordo com a informação prestada pela AgdA, no âmbito da avaliação da qualidade de serviço da ERSAR. Desta,  $4.99 \text{ hm}^3$  ( $1\,260 \text{ m}^3/\text{dia}$ ) foi distribuída a consumidores domésticos e  $1.09 \text{ hm}^3$  ( $277 \text{ m}^3/\text{dia}$ ) a consumidores não domésticos. As perdas totais foram  $1.98 \text{ hm}^3$  ( $499 \text{ m}^3/\text{dia}$ ).

Note-se que, as perdas consistem no volume de água correspondente à diferença entre a água entrada no sistema e o consumo autorizado. As perdas de água dividem-se em perdas reais e perdas aparentes. As perdas reais são o volume de água correspondente às perdas físicas até ao contador do utilizador, devido a fissuras, roturas e extravasamentos. Enquanto que, nas perdas aparentes são contabilizados os consumos não autorizados (furtos e ilícitos) e todos os tipos de imprecisões associadas às medições da água (produzida e consumida) (Alegre *et al*, 2015).

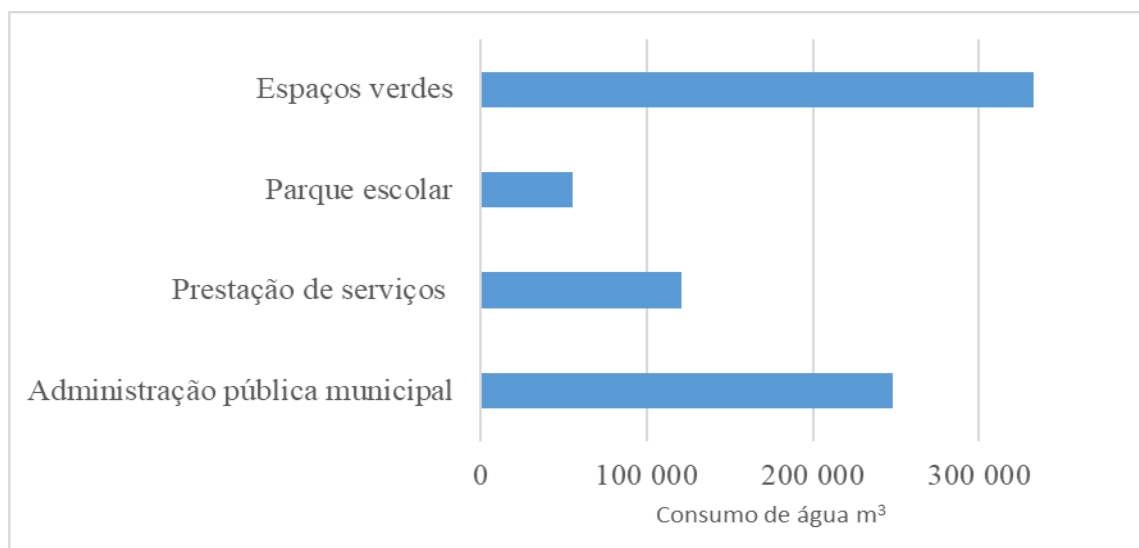


**Figura 11** - Captação de água subterrânea e consumos urbanos domésticos e não domésticos no período em estudo na cidade de Grândola.

Através da análise dos dados apresentados na Figura 11, verifica-se que, nos últimos 11 anos, apesar do decaimento demográfico, de 532 hab, as necessidades hídricas aumentaram, ainda que ligeiramente, observando-se simultaneamente uma redução da percentagem das perdas de água na rede de distribuição, com exceção dos anos marcados pela pandemia COVID-19, altura em que ocorreu uma diminuição dos trabalhos de manutenção da rede por dificuldade de afetação de recursos humanos. As perdas totais têm vindo a diminuir devido ao esforço, nos últimos anos, para redução das perdas aparentes através da diminuição da idade do parque de contadores, da instalação de contadores, em locais desprovidos dos mesmos, e do combate aos consumos ilícitos.

Os consumos domésticos são sempre superiores aos consumos não domésticos, o que permite afirmar que a cidade tem uma componente empresarial sem grande expressão relativamente à componente residencial.

Os consumos (internos e externos) da CMG, listados na metodologia do presente trabalho, foram detalhados tal como se apresenta na Figura 12. No total, foram utilizados 757 189 m<sup>3</sup> de água, o que corresponde a um consumo de 191 m<sup>3</sup>/dia e a 9 % da água entrada no sistema, isto é, distribuída pela EG em alta.



**Figura 12** – Consumo de água da CMG no período em análise

De entre os consumos municipais constata-se que, são os espaços verdes (44 %) e os edifícios afetos à administração pública municipal (33 %) os maiores consumidores de água.

A análise da Figura 12 reforça a necessidade de melhorar a eficiência hídrica nos edifícios municipais, nomeadamente definindo medidas que permitam um plano de ação, tais como:

- a) Inspeção periódica das instalações para deteção e reparação de fugas;
- b) Instalação de dispositivos mais eficientes no uso da água;
- c) Manutenção de equipamentos;
- d) Instalação de dispositivos de telemetria ou contadores inteligentes;
- e) Sensibilização e envolvimento dos trabalhadores.

O volume total de água utilizado pela cidade (8.06 hm<sup>3</sup>), correspondente a um consumo de 2 035 m<sup>3</sup>/dia, e a uma capitação de 197.5 L/hab.dia, deu origem a 4.55 hm<sup>3</sup> de água residual recolhida pela rede pública de drenagem de águas residuais, considerando uma afluência de 70 %, de acordo com o indicado na tabela III.1.

**Tabela III.1** - Volume de água residual produzida no período em estudo na cidade de Grândola.

CONSUMIDORES	CONSUMO DE ÁGUA (m <sup>3</sup> )	ÁGUA RESIDUAL PRODUZIDA (m <sup>3</sup> )	ÁGUA RESIDUAL TRATADA REJEITADA(m <sup>3</sup> )
Domésticos	4 988 121	3 491 684.70	2 793 347.76
Não domésticos	1 094 982	766 487.40	613 189.92
Administração pública municipal	248 220	173 754	139 003.20
Prestação de serviços	120 863	84 604.10	67 683.28
Estabelecimentos de ensino	55 219	38 653.30	30 922.64
<b>TOTAL</b>	<b>6 507 405</b>	<b>4 555 184</b>	<b>3 644 147</b>

As características das diversas águas residuais produzidas relacionam-se com os usos da água e de acordo com essa tipologia existem diferentes potenciais de circularidade. Nomeadamente:

- a) Águas residuais domésticas, as quais são as provenientes do metabolismo humano e de atividades domésticas (Regulamento n.º630/2017 de 20 de dezembro de 2017);
- b) Águas residuais urbanas, as águas resultantes da mistura das águas residuais domésticas com águas residuais industriais e/ou com águas pluviais (Regulamento n.º 630/2017 de 20 de dezembro de 2017) por exemplo, a mistura entre as águas residuais domésticas e as águas provenientes da lavagem e higienização de viaturas de recolha de RSU (resíduos sólidos urbanos);

As águas provenientes das piscinas municipais, resultantes do tratamento, funcionamento e lavagens dos filtros, podem ser consideradas residuais. Para além disso, é imposta pela NP 4542:2017 uma taxa de renovação da água que garanta valores de oxidabilidade compatíveis com a segurança dos utentes das piscinas (IPQ, 2017).

No CUA de Grândola as águas residuais acima identificadas são encaminhadas para a ETAR de Grândola. De acordo com o já referido, foram recolhidos pela rede pública de drenagem 4.56 hm<sup>3</sup> de água residual, para tratamento, e rejeitados 3.64 hm<sup>3</sup> (920 m<sup>3</sup>/dia) de água residual tratada no meio natural. Para determinação destes valores foi utilizada a metodologia aplicada e comunicada pela CMG às entidades competentes, de acordo com a qual 80 % da água residual recolhida é rejeitada no meio natural.

Os consumos dos espaços verdes não estão referidos na tabela III.2 e não se contabilizam para o cálculo das águas residuais produzidas, porque a água de rega é infiltrada no solo, absorvida pelas plantas e/ou evaporada. Apenas uma parte, que se quer pequena, sofre escoamento superficial, sofrendo evaporação e/ou sendo recolhida pela rede de drenagem de águas pluviais. Apesar disso, a rega dos espaços verdes deve poder ser suprida a partir de origens alternativas, que não contribuam para o consumo de água potável.

### III.2. IDENTIFICAÇÃO DE ORIGENS ALTERNATIVAS DE ÁGUA

Para potenciar a circularidade da água, há que identificar origens alternativas, para consumos cuja qualidade pode ser inferior à qualidade da água para consumo humano

(usos não potáveis), nomeadamente: a) a rega de espaços verdes; b) a limpeza e higiene urbana, a qual inclui: b.1) a limpeza e higienização de viaturas de recolha de RSU e varredouras; b.2) a lavagem de contentores para deposição de RSU; b.3) a limpeza das redes de drenagem de águas residuais e de drenagem de águas pluviais; b.4) a desobstrução de ramais de ligação.

O consumo não potável da cidade, para o período em análise, indicado na tabela III.2, foi de 335 094 m<sup>3</sup> o que corresponde a 85 m<sup>3</sup>/dia. Contudo, o valor real será seguramente superior porque, as viaturas, sempre que necessário, abastecem em qualquer ponto da rede de distribuição de água.

**Tabela III.2** - Volume de água utilizada em usos não potáveis no período em estudo na cidade de Grândola.

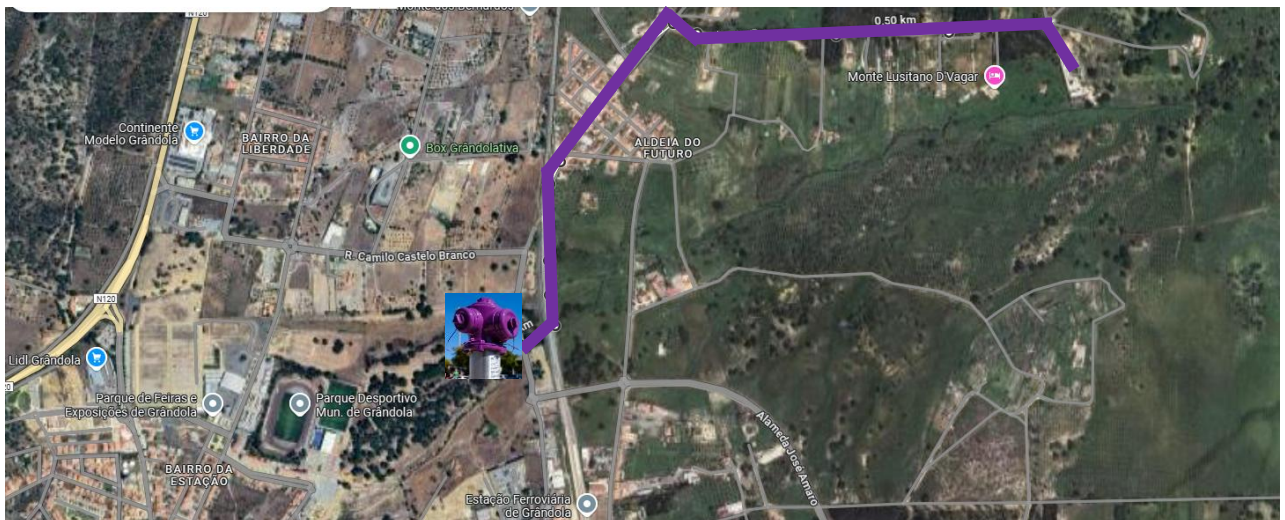
USO NÃO POTÁVEL	VOLUME ÁGUA (m <sup>3</sup> )
Rega de jardins	332 887
Limpeza e higiene urbana	2 207
TOTAL	335 094

Relativamente às origens alternativas, indicadas no ponto I.5, as mesmas possuem diferentes potenciais de aproveitamento, nomeadamente:

- a) Água do mar. Existe um elevado potencial para incrementar a disponibilidade de água potável e não potável no Concelho através desta origem. Contudo, contraria o objetivo geral do presente trabalho, não sendo considerada uma origem de proximidade;
- b) Água salobra. Dificilmente será ponderada a utilização desta origem pelo elevado valor ecológico do Estuário do Sado. Contudo, contraria o objetivo geral do presente trabalho, não sendo considerada uma origem de proximidade;
- c) Água proveniente de explorações de minério. Não existem minas em exploração no Concelho. Apesar do projeto da Mina da Lagoa Salgada estar em revisão, em termos geográficos, a Mina localizar-se-ia no interior do Concelho, a cerca de 12 km de distância de Grândola, medidos em linha reta, contrariando o objetivo geral do presente trabalho, pelo que, não será considerada no presente estudo;

- d) Água residual tratada. Não é uma origem alternativa de proximidade, o que contraria o objetivo geral do presente trabalho contudo, a sua utilização futura deve ser devidamente analisada pela AgdA e pela CMG.

Na Figura 13 exemplifica-se a execução de sensivelmente 2 km de rede macro, a partir da ETAR de Grândola, para garantir a entrega de ApR num ponto central de enchimento. Este ponto, localizado no interior do perímetro urbano, destaca-se pela necessidade de atravessamento da linha férrea, o que está sujeito a alguns condicionalismos por parte da IP (Infraestruturas de Portugal). Consequentemente, a sua utilização implicará não só um investimento significativo, na vertente em baixa, para execução de uma extensa infraestrutura dedicada ao transporte destas águas, como está dependente das prioridades de investimento da AgdA, para aumentar a capacidade produtiva e de armazenamento na ETAR de Grândola.



**Figura 13** - Representação esquemática da rede de ApR a executar entre a ETAR de Grândola e um ponto de consumo central na cidade.

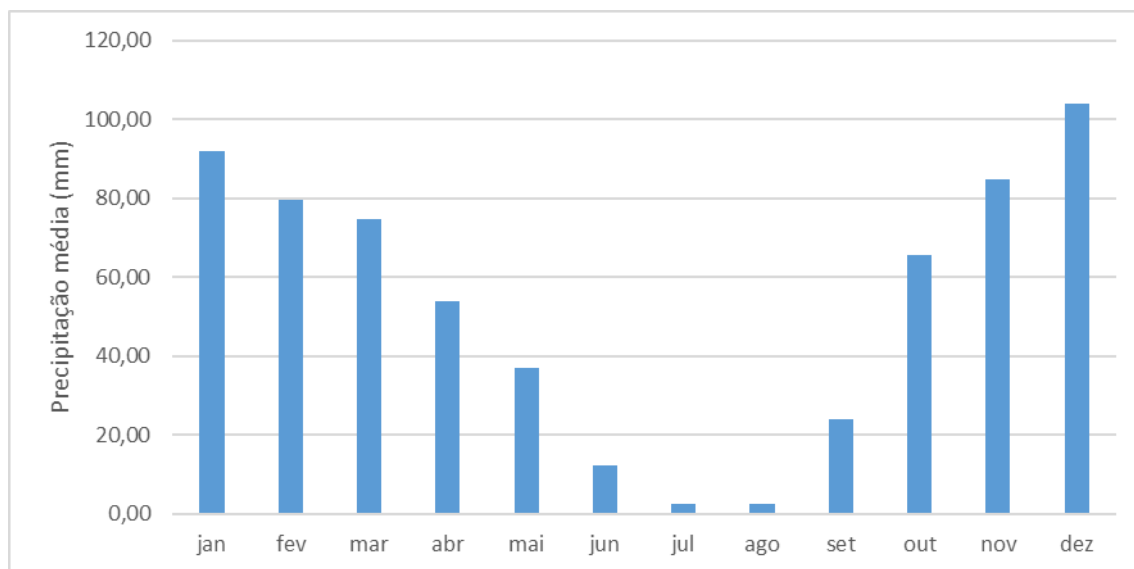
Sabendo que, a AgdA consome, em média, 30 m<sup>3</sup>/dia de ApR na ETAR de Grândola e que, os consumos municipais, não potáveis, são de 85 m<sup>3</sup>/dia, as necessidades a suprimir totalizam 115 m<sup>3</sup>/dia. Este volume, permite ainda manter um caudal ecológico de 805 m<sup>3</sup>/dia, sujeito a parecer por parte da APA/ARH (Agência Portuguesa do Ambiente/Administração da Região Hidrográfica) do Alentejo. De referir ainda que, esta alteração implicaria um aumento da capacidade produtiva e do volume de armazenamento do depósito de ApR.

Face aos constrangimentos indicados, e ao objetivo geral do presente trabalho, identificam-se apenas duas origens alternativas de proximidade, passíveis de implementação, no curto-médio prazo:

- a) a água da chuva, captada a partir dos telhados dos edifícios públicos localizados na proximidade dos espaços verdes;
- b) a água descartada das piscinas municipais, resultante da renovação imposta pela NP 4542:2017.





### III.2.1. Colheita de água da chuva

Utilizando os telhados dos edifícios públicos indicados na tabela III.3, calculou-se o volume de água da chuva mensal aproveitável, atendendo à série de dados de precipitação de 1931 a julho de 2025 (IPMA, 2025), cuja média se indica na Figura 12. Estes dados foram recolhidos por uma estação meteorológica localizada em Grândola (24F/01C).




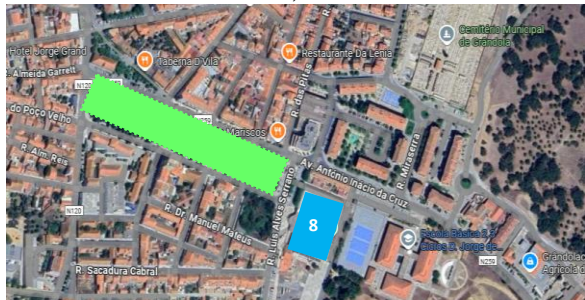


**Figura 14** – Série de dados mensais de precipitação (IPMA, 2025).

**Tabela III.3** - Identificação dos pontos de recolha e de utilização de água da chuva.

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	EDIFÍCIOS PÚBLICOS NA PROXIMIDADE
<p>Jardim Dr. José Jacinto Nunes</p> 	<p>38.176599, -8.568996;</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Edifício dos Paços do Concelho;</li> <li>2. Edifício dos Serviços Operacionais e refeitório;</li> <li>3. Edifício do Setor de Planeamento;</li> </ol>
<p><i>Caraterísticas:</i> O jardim Dr. José Jacinto Nunes possui um espelho de água que integra o primeiro reservatório de distribuição de água à cidade, conseqüentemente, às necessidades de rega acresce a reposição de água por evaporação e manutenção do equipamento.</p>		
<p>Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa</p> 	<p>38.177044, -8.567756;</p> 	<ol style="list-style-type: none"> <li>4. Edifício do Departamento de Planeamento Urbanístico;</li> <li>5. Edifício da Divisão de Atividades Económicas e Fundos Comunitários;</li> <li>6. Edifício da Biblioteca Municipal;</li> </ol>

**Tabela III.3 (cont.) - Identificação dos pontos de recolha e de utilização de água da chuva.**

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	EDIFÍCIOS PÚBLICOS NA PROXIMIDADE
<p>Largo Catarina Eufémia</p> 	<p>38.176024, -8.565509</p> 	<p>7. Edifício da antiga Rodoviária Nacional;</p>
<p>Jardim 1º de Maio</p> 	<p>38.174168, -8.563314</p> 	<p>8. Complexo Desportivo Municipal José Afonso;</p>

(1) O telhado do edifício municipal está indicado a azul (ponto de recolha) e o espaço verde está indicado a verde (ponto de utilização). O Anexo AI.1 é constituído por imagens aéreas dos espaços verdes.

O volume de água da chuva mensal aproveitável foi calculado através da fórmula (4), da tabela III.4, apresentando-se os cálculos detalhados nos Anexos AII.1 a AII.5.

**Tabela III.4** - Determinação do suprimento de água a partir da água da chuva.

PARÂMETRO	FÓRMULA DE CÁLCULO	FATORES
Volume de água da chuva aproveitável		
Volume de água da chuva aproveitável no período de tempo considerado (litros)	$V_a = C \times P \times A \times \eta_f$ (4)	C – Coeficiente de escoamento (relação entre o volume captado e o volume total de precipitação num determinado período de tempo); P – Altura de precipitação acumulada no período considerado (mm) A – Área de captação (m <sup>2</sup> ) $\eta_f$ - Eficiência hidráulica da filtragem
First flush		
Volume mínimo a desviar da cisterna (m <sup>3</sup> )	$V_d = P \times A$ (5)	P - Altura de precipitação a desviar (mm); A - área de captação (m <sup>2</sup> );
Volume de água passível de recolha		
Volume de água passível de recolha (Volume da cisterna) (m <sup>3</sup> )	$V = \text{Min} \{V_1 \text{ ou } V_2\}$	
	$V_1 = 0.0014 \times P \times A \times N$ (6)	P - pluviosidade média anual no local da instalação (mm); A - área de captação (m <sup>2</sup> ); N - número máximo de dias de retenção da água na cisterna (dias);
	$V_2 = 0.0027 \times CAE \times N$ (7)	CAE - consumo anual estimado (m <sup>3</sup> ); N - número máximo de dias de retenção da água na cisterna (dias);

Os valores utilizados nos coeficientes C e  $\eta_f$ , foram selecionados de acordo com o explicado na Especificação ANQIP e indicam-se na tabela III.5, assim como os restantes valores utilizados.

**Tabela III.5** - Valores utilizados nos parâmetros para determinação da água da chuva passível de utilização.

PARÂMETRO	FÓRMULA DE CÁLCULO	VALORES UTILIZADOS	
<b>Volume de água da chuva aproveitável</b>			
Va (litros)	$C \times P \times A \times \eta_f$ (4)	C	0.9
		P	Após pesquisa no site do SNIRH, foi exportada a informação recolhida pela estação 24F/01C, localizada em Grândola, cujos valores médios mensais se encontram nos anexos AII.
		A	Indicada na Indicada na tabela III.5.
		$\eta_f$	0.9
<b>First flush</b>			
Vd (m <sup>3</sup> )	$P \times A$ (5)	P	Foi considerado o desvio das primeiras águas pluviais em todos os meses do ano, com exceção dos três meses de Verão: junho, julho e agosto, porque são meses em que não chove ou em que a intensidade em questão é insignificante. Os valores obtidos encontram-se nos anexos AII.
		A	Indicada na Indicada na tabela III.5.
<b>Volume de água passível de recolha</b>			
V1 (m <sup>3</sup> )	$0.0014 \times P \times A \times N$ (6)	P	Após pesquisa no site do SNIRH, foi exportada a informação recolhida pela estação 24F/01C, localizada em Grândola, cujo valor anual se encontra nos anexos AII.
		A	Indicada na tabela III.5.
		N	20.
V2 (m <sup>3</sup> )	$0.0027 \times CAE \times N$ (7)	CAE	Consumo médio mensal do espaço verde. Indicado nos anexos AII e cuja informação se sintetiza na tabela III.7
		N	20.

A diferença entre o volume mensal consumido em cada espaço verde e o volume mensal aproveitável de água da chuva, descontado o first flush, permitiu obter o suprimento mensal do sistema, face à origem convencional de água para rega. De referir que, o volume do first flush foi obtido através da fórmula (5), indicando-se os respetivos parâmetros de cálculo na tabela III.4 e os valores utilizados na tabela III.5. As áreas de captação obtidas são as indicadas na tabela III.6.

**Tabela III.6** - Área de captação dos edifícios públicos e respetivos espaços verdes de proximidade.

IDENTIFICAÇÃO DO EDIFÍCIO MUNICIPAL	ÁREA DE CAPTAÇÃO (m <sup>2</sup> ) <sup>(2)</sup>	IDENTIFICAÇÃO DO ESPAÇO VERDE NA ENVOLVENTE
Edifício dos Paços do Concelho	272,69	Jardim Dr. José Jacinto Nunes
		Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa
Edifício dos Serviços Operacionais	644,89	Jardim Dr. José Jacinto Nunes
		Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa
Edifício do Setor de Planeamento	140,05	Jardim Dr. José Jacinto Nunes
		Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa
Edifício do Departamento de Planeamento Urbanístico	177,46	Jardim Dr. José Jacinto Nunes
		Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa
Divisão de Atividades Económicas e Fundos Comunitários;	162,81	Jardim Dr. José Jacinto Nunes
		Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa
Biblioteca Municipal de Grândola	795,64	Jardim Dr. José Jacinto Nunes
		Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa
Antigo edifício da Rodoviária Nacional	679,19	Largo Catarina Eufémia
Complexo Desportivo Municipal José Afonso	1908,76	Jardim 1º de Maio

(2) Área do telhado obtida através do serviço de pesquisa e visualização, de mapas e imagens satélite da Terra, Google Maps;

A determinação do volume da cisterna, para armazenamento de água da chuva, permite obter o volume passível de recolha, isto é, o volume de água da chuva efetivamente utilizado. E, é o menor volume obtido a partir das fórmulas (6) e (7) indicadas na tabela III.4 e III. 5. O resumo dos resultados obtidos é indicado na tabela III.7. Nos anexos AII apresentam-se os cálculos com maior detalhe.

**Tabela III.7 - Suprimento das necessidades de rega com água da chuva nos diferentes espaços verdes.**

JARDIM/ ESPAÇO VERDE	CONSUMO (m <sup>3</sup> /ano)	VOLUME APROVEITÁVEL DE ÁGUA DA CHUVA (m <sup>3</sup> )		VOLUME DA CISTERNA (m <sup>3</sup> )	VOLUME DE ÁGUA (m <sup>3</sup> /ano)		SUPRIMENTO COM ÁGUA DA CHUVA <sup>(3)</sup> (%)
		MÁXIMO	MÍNIMO		ORIGEM ALTERNATIVA	ORIGEM CONVENCIONAL	
Jardim Dr. José Jacinto Nunes	305.08	89.09	2.14	16	65	240	<b>21</b>
Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa	1 592	95.69	2.30	20	471	1 120	<b>30</b>
Largo Catarina Eufémia	2 187	57.21	1.38	12	297	1 890	<b>14</b>
Jardim 1º de Maio	14 211	160.79	3.87	34	944	13 267	<b>7</b>
<b>TOTAL</b>	<b>18 295</b>	<b>402.78</b>	<b>9.69</b>	<b>--</b>	<b>1 777</b>	<b>16 517</b>	<b>--</b>

(3) Foi utilizado um esquema de gradação de cores para identificar de forma rápida e intuitiva os espaços verdes com melhor e pior suprimento de água da chuva similar ao adotado para os índices de escassez de água (tabela I.3) em que: o azul escuro representa 0 % ≤ suprimento ≤ 10 % (pior); 11 % ≤ azul forte ≤ 21 %; 22 % ≤ azul ≤ 32 % e azul claro ≥ 33 % (melhor).

Para a avaliação das necessidades de rega, a suprimir através da água da chuva, no Jardim Dr. José Jacinto Nunes, foi utilizado o resultado de evapotranspiração potencial deste espaço verde em detrimento dos registos de consumo. Esta decisão deveu-se ao facto de existirem muitos períodos com ausência de informação o que levaria a erros por submedição. As necessidades de rega através da evapotranspiração potencial são indicadas no capítulo III.4.

Em nenhum dos espaços verdes analisados, o suprimento a partir da água da chuva foi superior a 33 % contudo, a análise das imagens na tabela III.3, permite identificar a possibilidade de sinergia entre o Jardim Dr. José Jacinto Nunes e o Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa, para partilha do volume captado de água da chuva. Identificando-se ainda, a possibilidade de aumentar o volume de água captado a partir do ponto de recolha 2 através da inclusão dos telhados do armazém e oficinas municipais. Estas alterações permitem aumentar o suprimento de água a partir de água da chuva de acordo com o detalhado na tabela III.8.

**Tabela III.8** - Resultado do aumento da área de captação e da sinergia entre espaços verdes próximos.

ESPAÇO VERDE	ÁREA DE CAPTAÇÃO (m <sup>2</sup> )	VOLUME CISTERNA	SUPRIMENTO COM ÁGUA DA CHUVA	
			(%)	(m <sup>3</sup> )
Cenário inicial				
Jardim Dr. José Jacinto Nunes	1 057.63	16	21	65
Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa	1 135.91	20	30	471
Cenário resiliente				
Jardim Dr. José Jacinto Nunes	4 906.54	87	60	1 137
Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa				

O maior défice de suprimento verifica-se no Jardim 1º de Maio com 93 % dos consumos a serem assegurados a partir da rede pública de água potável. O consumo do Jardim 1º de Maio inclui além da rega, o fornecimento de água à gelataria, às instalações públicas sanitárias, a reposição das perdas de água do lago e, o fornecimento de água a 3 bebedouros públicos pelo que, a avaliação do potencial de suprimento implica conhecer as perdas por evapotranspiração das espécies existentes.

De acordo com os resultados obtidos, esta origem alternativa não é suficiente para suprimir a totalidade dos consumos para rega dos espaços verdes de 18 295 m<sup>3</sup>/ano (50 m<sup>3</sup>/dia), no entanto, permitirá reduzir o consumo a partir da rede pública em 9.7 %, o que corresponde a 1 777 m<sup>3</sup>/ano (5 m<sup>3</sup>/dia). Este valor tem potencial para aumentar, após caracterização analítica com vista à afinação do volume de first flush.

Considerando o volume de água suprido com a água da chuva e a captação obtida anteriormente de 197.5 L/hab.dia, esta redução do consumo de água, a partir da origem convencional, permitirá uma poupança de água potável suficiente para assegurar as necessidades de cerca de 25 habitantes.

Para avaliar se a qualidade do ar em Grândola, poderia restringir o uso da água chuva ou obrigar à instalação de tratamentos complementares, foi consultada a informação disponibilizada através do portal QualAr (APA, 2025). A apreciação é globalmente boa/muito boa para Setúbal, logo, considera-se que, a mesma pode ser alargada a Grândola tendo em conta que a pressão antrópica é significativamente inferior nesta cidade. Consequentemente, a poluição existente na água da chuva não colidirá com o seu uso, em utilizações não potáveis, não obrigando à instalação de mais tratamentos além do indicado na Especificação da ANQIP: filtração a montante da cisterna.

Os restantes usos não potáveis da cidade (limpeza e higiene urbana) consomem 201 m<sup>3</sup>/ano de água a partir da rede pública, no entanto, não asseguram serviços ecossistémicos e como tal não se enquadram no âmbito do presente trabalho.

### **III.2.2. Aproveitamento da água descartada de piscinas**

No Complexo Desportivo Municipal José Afonso existe uma piscina municipal coberta semiolímpica com 450 m<sup>3</sup>, e uma piscina coberta para crianças com 18 m<sup>3</sup>. Associados aos tanques de natação estão tanques de compensação com 25 m<sup>3</sup> e 3 m<sup>3</sup>, para a piscina semiolímpica e infantil, respetivamente. A reposição diária de água é de 2 % do volume das piscinas.

Em termos de funcionamento, o ramal de abastecimento de água ao complexo desportivo, divide-se no seu interior em 3 circuitos distintos de alimentação, a saber, o circuito das piscinas, o de água fria e, o de água quente sanitária, estes dois últimos responsáveis pelo fornecimento de água às instalações sanitárias, balneários e bar/restaurante existente.

As rotinas de operação e manutenção das piscinas, além da verificação e limpeza de equipamentos, e, controlo analítico expedito, incluem a lavagem dos filtros de areia 3 vezes por semana (terças-feiras, quintas-feiras e sábados), a renovação da água e, a aspiração à superfície (piscina pré-olímpica) e esvaziamento total (piscina infantil) em caso de emergência (vómito e libertação de matéria fecal). Ao consumo anual de água acresce ainda a manutenção geral realizada às piscinas, uma vez por ano (agosto), o que inclui o esvaziamento total dos tanques. Os episódios de emergência são imprevisíveis.

De acordo com os requisitos legais em vigor e com a utilização das piscinas municipais, o ano de 2024 é o que melhor reflete o funcionamento futuro, pelo que, os dados analisados refletem exclusivamente esse ano. Os registos internos permitiram concluir que, anualmente o consumo de água é de 2 882 m<sup>3</sup>, o que se traduz num consumo médio mensal de 221 m<sup>3</sup> (8 m<sup>3</sup>/dia) encaminhados para a rede pública de drenagem de águas residuais urbanas.

Esta origem alternativa encontra-se na proximidade do Jardim 1º de Maio pelo que, pode ser utilizada, em conjunto com a água da chuva, para reduzir o consumo de água a partir da origem convencional. Consequentemente, ao volume anual obtido a partir da

água da chuva de 944 m<sup>3</sup> acrescem 2 882 m<sup>3</sup>, com a vantagem de que este último não é sazonal.

Considerando o volume de água suprido com a água proveniente das piscinas e a captação obtida anteriormente de 197.5 L/hab.dia, esta redução, permitirá uma poupança de água potável suficiente para assegurar as necessidades de cerca de 40 munícipes.

### III.3. DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE ESCASSEZ HÍDRICA

Para avaliar a mais valia da incorporação de origens alternativas nos usos não potáveis de Grândola, foram avaliados 2 cenários, o cenário atual, em que a única origem para abastecimento de água, são as captações subterrâneas operadas pela AgdA e, um cenário futuro, com mais resiliência, através da incorporação de origens alternativas. Para o efeito, foram utilizadas as fórmulas indicadas na tabela I.3, utilizando os valores indicados na tabela III.9.

**Tabela III.9** - Valores utilizados para determinação dos índices de escassez hídrica.

ÍNDICE	FÓRMULA DE CÁLCULO	VALORES UTILIZADOS	
Índice de Stress Hídrico ou Indicador de Falkenmark (Falkenmark,1989)			
IF (m <sup>3</sup> hab/ano)	$\frac{RHD}{P} \quad (1)$ <p>Em que: RHD – Recursos Hídricos Disponíveis; P - Número de habitantes.</p>	RHD (m <sup>3</sup> /ano)	<p>Cenário atual: é a quantidade de água necessária para satisfazer as necessidades hídricas da cidade, para as diferentes tipologias de consumo existentes, através da origem convencional: 732 592m<sup>3</sup>/ano;</p> <p>Cenário mais resiliente: é a quantidade de água necessária para satisfazer as necessidades hídricas da cidade, para as diferentes tipologias de consumo existentes, através da origem convencional suprido o contributo da água proveniente de origens alternativas de proximidade: 737 852 m<sup>3</sup>/ano;</p>
		P (hab)	É o número de habitantes que consta dos CENSOS 2021: 10 302hab;

**Tabela III.10** (cont.) - Valores utilizados para determinação dos índices de escassez hídrica.

ÍNDICE	FÓRMULA DE CÁLCULO	VALORES UTILIZADOS	
<b>Índice de Exploração da Água Modificado (AEA, 2012) (continuação)</b>			
WEI+ (%)	$\frac{C-R}{RHD} \times 100\% \quad (2)$ <p>Em que: C – Consumo de água total; R – Volume de efluente rejeitado pela ETAR de Grândola; RHD - Recursos Hídricos Disponíveis.</p>	C-R (m <sup>3</sup> /ano)	Balço hídrico global resultante da diferença entre o consumo associado a um determinado tipo de uso (agrícola, urbano, industrial) e o volume de água residual que retorna ao meio ambiente após tratamento na ETAR de Grândola. C: 621 845 m <sup>3</sup> /ano e R: 331 286 m <sup>3</sup> /ano;
		RHD (m <sup>3</sup> /ano)	Consultar informação referente à fórmula 1.
<b>Índice de Escassez de Água (Liao, 2024)</b>			
WSI (m <sup>3</sup> /hab.dia)	$\frac{RHD \times EUA \times PCDom}{N \times P} \quad (3)$ <p>Em que: RHD – Recursos Hídricos Disponíveis; EUA – Proporção da Eficiência do Uso de Água; PCDom – Proporção de Água para Consumo Doméstico; N – Número de dias; P – Número de habitantes.</p>	RHD (m <sup>3</sup> )	Consultar informação referente à fórmula 1.
		EUA	Fração de água captada que é efetivamente utilizada excluindo as perdas: 0.7560.
		PCDom	Fração da água captada que é utilizada para consumo doméstico: 0.6190.
		N (dias)	É o número de dias por ano em que é consumida água: 365 dias.
		P (hab)	Consultar informação referente à fórmula 1.

De acordo com o explanado, foram obtidos os resultados indicados na tabela III.10.

**Tabela III.11** - Resultados dos índices de escassez aplicados à cidade de Grândola.

CENÁRIO	VALOR OBTIDO	PONDERAÇÃO	
		QUANTITATIVA	QUALITATIVA
<b>IF (Falkenmark, 1989)</b>			
Atual	<b>71.11</b>	<b>&lt; 500 (m<sup>3</sup>/hab.ano)</b>	<b>Escassez absoluta</b>
Mais resiliente	<b>71.62</b>	<b>&lt; 500 (m<sup>3</sup>/hab.ano)</b>	<b>Escassez absoluta</b>
<b>WEI+ (AEA, 2012)</b>			
Atual	<b>39.66</b>	<b>21 – 40 (%)</b>	<b>Escassez</b>
Mais resiliente	<b>39.38</b>	<b>21 – 40 (%)</b>	<b>Escassez</b>
<b>WSI (Liao, 2024)</b>			
Atual	<b>0.09117</b>	<b>0.05 – 0.1 (m<sup>3</sup>/hab.dia)</b>	<b>Escassez</b>
Mais resiliente	<b>0.09182</b>	<b>0.05 – 0.1 (m<sup>3</sup>/hab.dia)</b>	<b>Escassez</b>

O valor obtido para o Índice de Stress Hídrico ou Indicador de Falkenmark (Falkenmark,1989) no cenário atual foi de 71.11 m<sup>3</sup>/hab.ano. Este índice expressa o volume anual de água doce disponível por habitante numa região, sendo o limiar máximo de 500 m<sup>3</sup>/hab.ano indicativo de escassez absoluta. Grândola encontra-se neste intervalo, e apesar da sua condição hídrica melhorar ligeiramente com a incorporação das origens alternativas, não é suficiente para melhorar a resiliência da cidade. Estes valores indicam que cada habitante dispõe apenas de 71.11 m<sup>3</sup>/ano (cenário atual) e 71.60 m<sup>3</sup>/ano (cenário mais resiliente) para suprimir as suas necessidades básicas e as necessidades da agricultura, da indústria e dos ecossistemas, pelo que, se considera serem extremamente críticos dentro do intervalo de escassez absoluta. É um índice mais apropriado para análises a nível regional uma vez que tem em conta os vários usos para a água doce.

Foi utilizado o consumo total da cidade (621 844m<sup>3</sup>) para determinar o Índice de Exploração da Água Modificado (AEA, 2012). O resultado obtido (39.66 %) enquadra-se no intervalo de escassez, melhorando ligeiramente com a introdução dos volumes provenientes das origens alternativas (39.40 %). Como a cidade consome, anualmente, entre 21 % e 40 % do recurso, a pressão exercida sobre os aquíferos supera a sua capacidade natural de regeneração. No entanto, importa destacar que, este balanço global, não tem em consideração variações sazonais no consumo, crescimento populacional e fenómenos climáticos extremos. É um índice mais apropriado para

análises ao nível da bacia hidrográfica uma vez que tem em conta o volume de água residual tratada que retorna ao meio natural.

O valor obtido para o Índice de Escassez de Água (Liao, 2024) no cenário atual foi de 0.09117 m<sup>3</sup>/hab.dia. Este índice expressa o volume diário de água disponível para consumo doméstico por habitante numa determinada região. Considerando que, o limiar máximo de 50 L/hab.dia corresponde à escassez absoluta (quantidade mínima para a sobrevivência humana), verifica-se que a disponibilidade de água na cidade se encontra em níveis críticos. E, apesar da sua condição hídrica melhorar ligeiramente com a incorporação das origens alternativas, não é suficiente para melhorar a resiliência da cidade. Estes valores indicam que cada habitante dispõe apenas de 91.17 L/dia (cenário atual) e 91.82 L/dia (cenário mais resiliente) para suprimir as suas necessidades básicas de consumo pelo que, se considera serem extremamente críticos dentro do intervalo de escassez absoluta. A título de exemplo refere-se que, o consumo médio mensal dos utilizadores domésticos de Grândola é de 12 000 L (12m<sup>3</sup>). Ainda que este índice foque apenas o consumo humano, tem em consideração outros fatores como a ineficiência das redes de distribuição para avaliar a escassez de água. É um índice apropriado para análises deste tipo ao nível da cidade.

Tendo em consideração os resultados obtidos, a melhoria da resiliência hídrica da cidade passa pelo aumento da disponibilidade de água através da redução dos consumos e da redução de perdas, e, posteriormente, mediante nova avaliação, pela utilização de origens alternativas. O planeamento e implementação de medidas corretivas é de extrema importância sob pena de se comprometer a qualidade de vida e o desenvolvimento económico da cidade.

### III.4. ESPAÇOS VERDES DA CIDADE DE GRÂNDOLA

De acordo com a estrutura ecológica existente na cidade (Figura 8) foram selecionados 4 espaços verdes pela sua importância para a população. Posteriormente, identificaram-se, na sua proximidade, os edifícios públicos (tabela III.2) que poderiam contribuir para a recolha de água da chuva. Os espaços verdes selecionados são:

- a) O Jardim Dr. José Jacinto Nunes, localiza-se em frente ao edifício dos Paços do Concelho numa zona urbana de densidade significativa. É utilizado de forma intensiva como ponto de tomada de trabalhadores de empresas, e, ponto de encontro entre pessoas que aguardam atendimento nos diferentes serviços municipais existentes na envolvente;
- b) O Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa, próximo ao jardim Dr. José Jacinto Nunes, tenta atenuar a frieza do edificado ligando uma zona de serviços públicos a uma das artérias principais da cidade. O espaço localiza-se numa área com elevada circulação pedonal e automóvel mas não tem utilização;
- c) O Largo Catarina Eufémia, funciona como Estação Rodoviária desde o encerramento da mesma. Passageiros, de todas as idades, esperam por transportes públicos neste local, sentados nos bancos aí existentes. É neste espaço que se localiza também a praça de táxis;
- d) O Jardim 1º de Maio: é a maior mancha verde localizada em perímetro urbano, com utilização diária intensiva, sobretudo no Verão, quando a temperatura aumenta e os munícipes aí procuram conforto térmico, divertimento e convívio. Possui gelataria, zona de merendas, parque infantil, zona com equipamento de ginástica e lago.

Estes espaços, possuem zonas impermeabilizadas, as quais contribuem para o escoamento superficial, e, vegetadas, constituídas por relva, arbustos e árvores, cuja caracterização se indica na tabela III.11.

**Tabela III.12** - Caracterização dos espaços verdes em estudo da cidade de Grândola.

CARACTERÍSTICAS	ESPAÇO VERDE			
	Jardim Dr. José Jacinto Nunes	Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa	Largo Catarina Eufémia	Jardim 1º de Maio
Ano de remodelação	2010	2010	2016	2018
Área total (m <sup>2</sup> )	1 665	2 607	1 821	12 150
Área impermeabilizada (%)	79	66	36	2
Área vegetada (%)	21	34	4	70
Área relvada (%)	0	0	60	28

A relva utilizada, da variedade Garzon, é resistente ao stress hídrico e necessita de consumir 3 678 m<sup>3</sup> de água anualmente para repôr as perdas por evapotranspiração. Os consumos são 894 m<sup>3</sup>/ano no Largo Catarina Eufémia e 2 784 m<sup>3</sup>/ano no Jardim 1º de Maio, valores que correspondem a 41 % e 20 % respetivamente do consumo anual destes espaços. As necessidades de evapotranspiração foram obtidas tendo por base o consumo médio mensal da relva do campo de golfe S. Lourenço (Quinta do Lago): 0.0682 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/mês (Segun, 2025). De referir que, a relva deste campo de golfe também é resistente ao stress hídrico daí ser utilizada como referência.

Para cada espaço verde foram identificadas e contabilizadas, *in situ*, as espécies arbóreas existentes. A informação está indicada na tabela III.12.

**Tabela III.13** - Diversidade e abundância nos espaços verdes em estudo na cidade de Grândola.

ESPAÇO VERDE	ESPÉCIE	NÚMERO DE ESPÉCIES	ESPAÇO VERDE	ESPÉCIE	NÚMERO DE ESPÉCIES
Jardim Dr. José Jacinto Nunes	<i>Acer negundo L.</i>	5	Jardim 1º de Maio	<i>Acer negundo L.</i>	9
	<i>Melia azedarach</i>	3		<i>Catalpa bignonioides</i>	4
	<i>Platanus sp</i>	4		<i>Cedrus atlantica</i>	7
	<i>Washingtonia robusta</i>	1		<i>Celtis australis</i>	15
	<b>TOTAL</b>	13		<i>Chamaerops humilis</i>	3
Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa	<i>Acer campestre</i>	5		<i>Grevillea robusta</i>	9
	<i>Acer monspessulanum</i>	1		<i>Jacaranda mimosifolia</i>	10
	<i>Citrus sinensis</i>	4		<i>Ligustrum japonicum</i>	3
	<i>Prunus cerasifera pissardi</i>	6		<i>Magnolia grandiflora</i>	4
	<i>Tilia tomentosa moench</i>	4		<i>Nerium oleander</i>	1
	<b>TOTAL</b>	20		<i>Phytolacca dioica L.</i>	1
Largo Catarina Eufémia	<i>Acer platanoides</i>	1		<i>Pittosporum tobira</i>	1
	<i>Cupressus macrocarpa 'Goldcrest Wilma'</i>	1		<i>Platanus sp</i>	3
	<i>Ficus microcarpa</i>	1		<i>Prunus cerasifera 'Pissardii'</i>	2
	<i>Ligustrum japonicum</i>	1		<i>Quercus suber</i>	1
	<i>Liquidambar styraciflua</i>	1	<i>Quercus faginea</i>	2	
	<i>Platanus sp</i>	26	<i>Schinus molle</i>	22	
	<b>TOTAL</b>	31	<i>Thuja occidentalis</i>	2	
<b>TOTAL DE ESPÉCIES NOS 4 ESPAÇOS VERDES EM ESTUDO: 165</b>			<i>Washingtonia robusta</i>	2	
			<b>TOTAL</b>	101	

São várias as espécies exóticas já presentes em território nacional, mas já estão naturalizadas e com exceção do *Acer negundo L.*, não se consideram invasoras. O *Acer campestre*, o *Acer platanoides* e o *Schinus molle* estão na lista de espécies ocorrentes em Portugal Continental, não incluídas na Lista Nacional de Espécies Invasoras e para as quais se dispensa a licença de detenção ou cultivo (ICNF, 2025).

Para uma primeira estimativa dos serviços ecossistémicos assegurados pelas árvores dos espaços verdes anteriormente referidos, foram realizadas medições *in situ*, a uma amostra representativa. Esta amostra é composta pelas espécies mais comuns nos espaços verdes das cidades mediterrânicas. As variáveis medidas constam da tabela III.13.

**Tabela III.14** - Variáveis medidas nas árvores amostradas dos espaços verdes da cidade de Grândola.

ESPÉCIE	DAP <sup>(5)</sup> (cm)	ALTURA TOTAL (m)	ALTURA DO TOPO DA COPA (m)	ALTURA DA BASE DA COPA (m)	LARGURA DA COPA (m)
<i>Acer negundo L.</i>	30.4	5.93	5.40	1.60	5.35
	50.9	13.70	13.7	1.98	13.2
	38.0	10.00	10.0	2.00	9.60
<i>Grevillea robusta</i>	60.8	17.50	16.9	4.90	10.1
	47.3	17.80	17.8	5.20	6.15
	37.5	15.40	15.0	3.60	6.35
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	12.7	6.08	6.08	2.40	3.65
	13.1	6.73	6.73	2.00	4.25
<i>Melia azedarach</i>	26.5	7.70	7.70	2.00	6.70
	17,2 / 12,5 / 8,21 / 7,83 <sup>(4)</sup>	5.90	5.90	1.80	6.60
	20.2	5.50	5.50	1.90	4.90
<i>Platanus sp</i>	28.2	12.1	12.1	1.80	9.70
	42.9	16.7	16.7	2.73	9.70
	51.9	15.2	15.2	4.35	14.50
	46.6	10.9	10.9	1.40	8.60

(4) Tronco dividido em 4. (5) Diâmetro à altura do peito.

O DAP foi medido a sensivelmente 1.30 m de altura, e, juntamente com as restantes variáveis, para cada árvore amostrada, foram introduzidas no modelo i-Tree ECO, versão 6 o qual permitiu estimar os serviços ecossistémicos assegurados pelas mesmas em termos de regulação climática e qualidade do ar (tabela III.14).

**Tabela III.15** - Estimativa dos serviços ecossistémicos assegurados pelas árvores amostradas na cidade de Grândola | Regulação climática e qualidade do ar.

ESPÉCIE	ÁREA FOLIAR <sup>(6)</sup>	SEQUESTRO DE CO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>		ARMAZENAMENTO C <sup>(6)</sup>	PRODUÇÃO DE O <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>	
	m <sup>2</sup>	(kg/ano)	(g/m <sup>2</sup> .ano)	(kg)	(kg/ano)	(g/m <sup>2</sup> .ano)
<i>Acer negundo L.</i>	30.9	38.9	1 259	165	28.3	916
	365	156	426	735	113	310
	325	105	322	365	75.9	234
Média	<b>240</b>	<b>100</b>	<b>669</b>	<b>422</b>	<b>72.4</b>	<b>487</b>
Desvio padrão	149	47.9	419	236	34.7	305
<i>Grevillea robusta</i>	483	263	545	1 399	191	396
	304	182	600	761	133	437
	276	130	473	437	94.7	344
Média	<b>354</b>	<b>192</b>	<b>539</b>	<b>866</b>	<b>140</b>	<b>392</b>
Desvio padrão	91.7	54.7	52.0	400	39.6	38.1
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	20.8	26.1	1 253	31.2	19.0	913
	34.0	27.2	799	34.0	19.9	585
Média	<b>27.4</b>	<b>26.6</b>	<b>1 026</b>	<b>32.6</b>	<b>19.45</b>	<b>749</b>
Desvio padrão	6.6	0.55	227	1.4	0.45	164
<i>Melia azedarach</i>	119	130	1 085	138	94.1	788
	84.3	112	1 327	107	81.2	963
	43.4	87.7	2 021	70.1	63.8	1 470
Média	<b>101</b>	<b>121</b>	<b>1 477</b>	<b>122</b>	<b>87.6</b>	<b>1 073</b>
Desvio padrão	17.3	9.00	396.7	15.5	6.45	289
<i>Platanus sp</i>	498	65.3	131	96.9	47.5	95.4
	689	119	173	273	86.8	126
	416	157	378	437	114	274
	318	134	422	335	97.7	307
Média	<b>480</b>	<b>118</b>	<b>276</b>	<b>285</b>	<b>99.5</b>	<b>201</b>
Desvio padrão	136	33	126	124	11.2	91.3

(6) Foi destacado a azul a espécie com melhor comportamento em cada serviço ecossistémico e maior área foliar.

As árvores com maior área foliar são, por ordem decrescente, o *Platanus sp*, a *Grevillea robusta*, o *Acer negundo L.*, a *Melia azedarach* e o *Jacaranda mimosifolia*. A área de folhas influencia positivamente o sombreamento e o arrefecimento do ar, contribuindo para a redução do efeito ilha de calor urbana.

As espécies que sequestram mais CO<sub>2</sub> por unidade de área foliar, contribuindo assim para a qualidade do ar e regulação climática, são as *Melia azedarach*, os *Jacaranda mimosifolia* e os *Acer negundo L.* Em termos de sequestro individual são as *Grevillea robusta*, as *Melia azedarach* e os *Platanus sp.*

Estas diferenças podem dever-se a limitações do modelo i-Tree ECO, versão 6, uma vez que este não considera o número de folhas em relação à área foliar total. Assim, uma árvore pode apresentar uma área foliar mais elevada, mas possuir espaços vazios na copa. O modelo assume, portanto, uma densidade foliar uniforme em toda a área, o que não corresponde à variabilidade observada na realidade. Além disso, o sequestro de CO<sub>2</sub> é influenciado por diversos fatores biológicos, intrínsecos à própria árvore, como a eficiência de conversão do CO<sub>2</sub>, a taxa de crescimento e a idade, bem como por fatores ambientais, entre os quais se destaca a disponibilidade de luz solar, dado que a fotossíntese depende diretamente da radiação luminosa. Consequentemente, árvores com menor exposição solar apresentam taxas de sequestro de CO<sub>2</sub> inferiores.

As espécies que produzem mais O<sub>2</sub> por unidade de área foliar, contribuindo assim para a melhoria da qualidade do ar, são as *Melia azedarach*, os *Jacaranda mimosifolia* e os *Acer negundo L.* Em termos de produção individual são as *Grevillea robusta*, os *Platanus sp* e as *Melia azedarach*. Comparando estes resultados com aqueles obtidos para as espécies com melhor desempenho em termos de sequestro de CO<sub>2</sub> constata-se a existência de uma correlação explicável pelo facto de ambos os processos decorrerem da fotossíntese. De facto, quanto maior a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, ao redor da árvore, maior tende a ser a produção de O<sub>2</sub>, em conformidade com a equação química geral da fotossíntese.

A *Melia azedarach* é a espécie que melhor sequestra CO<sub>2</sub> e produz O<sub>2</sub>.

As espécies que armazenam mais C, em média, são as *Grevillea robusta*, os *Acer negundo L* e os *Platanus sp*. O armazenamento de C é um valor cumulativo representando o C atualmente presente na biomassa da árvore desde o início do seu

crescimento. A biomassa influencia diretamente o armazenamento de C, e, na amostra estudada, as espécies como maior porte (altura, DAP e área foliar) são as *Grevillea robusta*, os *Platanus sp* e os *Acer negundo L*.

Outro sistema ecossistémico, de extrema importância é a remoção de poluentes da atmosfera. De acordo com as variáveis medidas, o i-Tree ECO, versão 6, devolveu a informação constante da tabela III.15. De acordo com os valores obtidos, as espécies que têm maior impacto na qualidade do ar e na saúde humana, removendo maior número de poluentes por unidade de área foliar são a *Melia azedarach* (CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub>) e o *Platanus sp* (SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>), devido à quantidade (área foliar) e ao tamanho das folhas. Em termos de remoção individual, o *Platanus sp* apresenta a maior quantidade de poluentes removidos anualmente, nomeadamente: O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>. Em oposição, os *Jacaranda mimosifolia* são a espécie removem menor número de poluentes por unidade de área foliar e individual (g/ano). Contudo, destas espécies apenas a *Grevillea robusta* é (semi) perene, garantindo uma remoção contínua de poluentes ao longo do ano.

**Tabela III.16** - Estimativa dos serviços ecossistémicos assegurados pelas árvores amostradas na cidade de Grândola | Remoção de poluentes.

ESPÉCIE	C <sup>(6)</sup>		O <sub>3</sub> <sup>(6)</sup>		NO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>		SO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>		PM <sub>2.5</sub> <sup>(6)</sup>		PM <sub>10</sub> <sup>(6)</sup>	
	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)
<i>Acer negundo L</i>	1.00	32.4	48.0	1553	3.0	97.1	2.10	68.0	1.00	32.4	21.5	696
	11.7	32.0	725	1503	35.0	95.8	23.6	64.6	12.2	33.4	251	686
	10.4	32.0	456	1503	31.3	95.8	21.0	64.7	10.9	33.6	223	686
Média	<b>7.70</b>	<b>32.1</b>	<b>410</b>	<b>1 520</b>	<b>23.1</b>	<b>96.2</b>	<b>15.6</b>	<b>65.8</b>	<b>8.03</b>	<b>33.1</b>	<b>165</b>	<b>689</b>
Desvio padrão	4.77	0.19	278	23.57	14.3	0.61	9.58	1.58	5.00	0.52	102	4.71
<i>Grevillea robusta</i>	15.5	32.1	414	1503	46.3	95.9	31.2	64.6	16.1	33.4	331	686
	9.70	31.9	31.2	1502	29.1	95.8	19.6	64.5	10.2	33.6	208	686
	8.80	31.9	51.1	1503	26.4	95.8	17.8	64.6	9.20	33.4	189	686
Média	<b>11.3</b>	<b>32</b>	<b>165</b>	<b>1 502</b>	<b>33.9</b>	<b>95.8</b>	<b>22.9</b>	<b>64.6</b>	<b>11.8</b>	<b>33.5</b>	<b>243</b>	<b>686</b>
Desvio padrão	2.97	0.09	176	0.47	8.8	0.05	5.94	0.05	3.04	0.09	62.9	0.00
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0.70	33.7	549	1 500	2.00	96.2	1.30	62.5	0.70	33.7	14.2	683
	1.10	32.4	488	1 503	3.30	97.1	2.20	64.7	1.10	32.4	23.4	688
	Média	<b>1.59</b>	<b>22.1</b>	<b>404</b>	<b>1 001</b>	<b>4.70</b>	<b>64.4</b>	<b>3.15</b>	<b>42.4</b>	<b>1.61</b>	<b>22.1</b>	<b>33.5</b>
Desvio padrão	0.99	15.5	163	708	2.95	45.5	2.01	30	1.02	15.5	21.1	323
<i>Melia azedarach</i>	4.0	33.5	186	1 554	11.7	98.0	8.0	67.0	4.00	33.5	83.1	696
	2.9	34.4	131.0	1 556	8.3	98.5	5.7	67.6	2.80	33.2	58.7	696
	1.5	34.6	67.6	1 558	4.3	99.1	2.9	66.8	1.50	34.6	30.2	696
Média	<b>2.8</b>	<b>34.2</b>	<b>128</b>	<b>1 556</b>	<b>8.3</b>	<b>98.5</b>	<b>5.5</b>	<b>67.1</b>	<b>2.77</b>	<b>33.8</b>	<b>57.3</b>	<b>696</b>
Desvio padrão	1.0	0.48	48.4	1.63	8.30	0.45	2.1	0.34	1.02	0.60	21.6	0

(6) Foi destacado a azul a espécie com melhor comportamento em cada serviço ecossistémico e maior área foliar.

**Tabela III.15 (cont.)** - Estimativa dos serviços ecossistêmicos assegurados pelas árvores amostradas na cidade de Grândola | Remoção de poluentes.

ESPÉCIE	C <sup>(6)</sup>		O <sub>3</sub> <sup>(6)</sup>		NO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>		SO <sub>2</sub> <sup>(6)</sup>		PM <sub>2.5</sub> <sup>(6)</sup>		PM <sub>10</sub> <sup>(6)</sup>	
	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)	(g/ano)	(mg/m <sup>2</sup> .ano)
<i>Platanus sp</i>	16.9	33.9	774	1 555	48.9	98.2	33.4	67.1	16.7	33.5	347	696
	23.3	33.8	1072	1 555	67.7	98.2	46.3	67.2	23.1	33.5	480	696
	14.1	33.9	647	1 555	40.9	98.3	27.9	67.1	13.9	33.4	290	696
	10.8	33.9	495	1 555	31.3	98.3	21.4	67.2	10.7	33.6	222	696
Média	<b>16.1</b>	<b>33.9</b>	<b>738</b>	<b>1 555</b>	<b>8.30</b>	<b>98.3</b>	<b>31.9</b>	<b>67.2</b>	<b>15.9</b>	<b>33.5</b>	<b>330</b>	<b>696</b>
Desvio padrão	5.29	0.05	244	0	8.30	0.05	10.5	0.05	5.26	0.08	109	0

(6) Foi destacado a azul a espécie com melhor comportamento em cada serviço ecossistêmico e maior área foliar.

Outro sistema ecossistémico, de extrema importância é o contributo das árvores para a regulação do ciclo da água em meio urbano. De acordo com as variáveis medidas, o i-Tree ECO, versão 6, devolveu a informação constante da tabela III.16.

**Tabela III.17** - Estimativa dos serviços ecossistémicos assegurados pelas árvores amostradas na cidade de Grândola | Regulação do CUA.

ESPÉCIE	EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL <sup>(5)</sup> (m <sup>3</sup> /ano)	TRANSPIRAÇÃO <sup>(5)</sup> (m <sup>3</sup> /ano)	INTERCEÇÃO <sup>(5)</sup> (m <sup>3</sup> /ano)	ESCOAMENTO SUPERFICIAL EVITADO <sup>(5)</sup> (m <sup>3</sup> /ano)
<i>Acer negundo L</i>	2.85	1.18	0.152	0.0326
	32.5	12.8	2.03	0.434
	28.9	11.4	1.80	0.385
Média	<b>21.4</b>	<b>8.46</b>	<b>1.33</b>	<b>0.284</b>
Desvio padrão	13.2	5.18	0.84	0.179
<i>Grevillea robusta</i>	42.9	16.9	2.68	0.573
	27.0	10.6	1.69	0.361
	24.5	9.66	1.53	0.327
Média	<b>31.5</b>	<b>12.39</b>	<b>1.97</b>	<b>0.420</b>
Desvio padrão	8.15	3.21	0.51	0.109
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	1.85	0.728	0.115	0.0246
	3.03	1.19	0.189	0.0404
	Média	<b>4.34</b>	<b>1.71</b>	<b>0.27</b>
Desvio padrão	2.73	1.08	0.17	0.0366
<i>Melia azedarach</i>	11.0	4.56	0.587	0.126
	7.79	3,22	0.415	0.0890
	4.01	1.66	0.214	0.0458
Média	<b>7.60</b>	<b>3.15</b>	<b>0.41</b>	<b>0.0869</b>
Desvio padrão	2.86	1.19	0.15	0.0328
<i>Platanus sp</i>	46.0	19.0	2.45	0.525
	63.6	26.3	3.39	0.727
	38.4	15.9	2.05	0.439
	29.4	12.2	1.57	0.336
Média	<b>43.8</b>	<b>18.13</b>	<b>2.34</b>	<b>0.501</b>
Desvio padrão	14.47	5.97	0.77	0.165

As espécies com maiores perdas de água por transpiração, por ordem decrescente, são o *Platanus sp*, a *Grevillea robusta*, o *Acer negundo L.*, a *Melia azedarach* e o *Jacaranda mimosifolia*. Existe uma correlação entre transpiração e área foliar, sendo as espécies com maior área foliar responsáveis pelas perdas maiores de água por transpiração. Esta água, transferida do solo para a atmosfera aumenta a humidade local ajudando ao arrefecimento do ar e à diminuição da temperatura.

As espécies com maior potencial de retenção temporária de água da chuva na sua superfície, por ordem decrescente, são o *Platanus sp*, a *Grevillea robusta*, o *Acer negundo L.*, a *Melia azedarach* e o *Jacaranda mimosifolia*. Existe uma correlação entre interceção e área foliar, sendo as espécies com maior área foliar responsáveis pelo maior volume de água da chuva intercetado.

As espécies com maior potencial para evitar escoamento superficial, por ordem decrescente, são o *Platanus sp*, a *Grevillea robusta*, o *Acer negundo L.*, a *Melia azedarach* e o *Jacaranda mimosifolia*. Existe uma correlação entre prevenção de escoamento superficial e área foliar, sendo as espécies com maior área foliar responsáveis pelo desvio do maior caudal de água das infraestruturas públicas de drenagem de água residual.

A espécie *Platanus sp* apresenta, em termos globais, o melhor desempenho na regulação do ciclo da água em ambiente urbano e no arrefecimento da temperatura nas proximidades, pois é a espécie com maior perda de água por evapotranspiração entre as estudadas. Dessa perda, cerca de 40 % ocorre por transpiração e a restante por evaporação. Consequentemente, esta espécie também é a que consome mais água das estudadas para repor essa perda, tendo desenvolvido estratégias de sobrevivência que resultam na interceção de maiores volumes de água da chuva, associada à sua área foliar. No extremo oposto encontra-se o *Jacaranda mimosifolia*. Esta diferença pode estar relacionada com as regiões de origem de cada espécie: enquanto o *Platanus sp* é originário do Hemisfério Norte, em zonas temperadas com precipitação mais distribuída ao longo do ano, a *Jacaranda mimosifolia* é nativa de regiões subtropicais da América do Sul, onde os verões são quentes e chuvosos e os invernos tendem a ser mais secos.

Por isso, o jacarandá está adaptado a ciclos hídricos com maior estacionalidade, o que poderá justificar a sua menor contribuição para processos como a interceção da chuva ou a evapotranspiração em períodos críticos no contexto urbano (Xien, 2021). Uma das estratégias de sobrevivência desenvolvidas por esta espécie é a perda sazonal das folhas reduzindo a evapotranspiração em períodos de menor disponibilidade hídrica.

A evapotranspiração potencial por espaço verde é a indicada na III.17 e foi obtida multiplicando a evaporação média de cada espécie pelo número de espécies em cada espaço verde.

**Tabela III.18** - Estimativa da evapotranspiração potencial por árvore na cidade de Grândola.

ESPÉCIE	NÚMERO DE ESPÉCIES	EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL (m <sup>3</sup> /ano)	NECESSIDADES DE REGA (m <sup>3</sup> /ano)
<b>Jardim Dr. José Jacinto Nunes</b>			
<i>Acer negundo L.</i>	5	21.42	107.1
<i>Melia azedarach</i>	3	7.60	22.8
<i>Platanus sp</i>	4	43.82	175
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>72.82</b>	<b>305</b>
<b>Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa</b>			
Sem espécies amostradas.			
<b>Largo Catarina Eufémia</b>			
<i>Platanus sp</i>	26	43.80	1 138.80
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>43.80</b>	<b>1 138.80</b>
<b>Jardim 1º de Maio</b>			
<i>Acer negundo L.</i>	9	21.42	192.75
<i>Grevillea robusta</i>	9	31.47	283.20
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	10	4.34	43.43
<i>Platanus sp</i>	3	43.80	131.40
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>101.03</b>	<b>650.78</b>

Comparando a informação obtida na tabela III.17 com os consumos registados para cada espaço verde, a partir da origem convencional, indicados na tabela III.4, verifica-se que:

- a) o consumo de água no Jardim Dr. José Jacinto Nunes corresponde apenas a 6 % (17 m<sup>3</sup>/ano) do consumo mínimo anual exetável (305.08 m<sup>3</sup>/ano). Esta discrepância deve-se ao facto de existirem muitos períodos, nos registos de leitura do contador, com ausência de informação. O valor de evapotranspiração potencial obtido corresponde a um consumo mínimo de água porque existe mais uma espécie arbórea neste espaço verde a qual não foi incluída na amostra estudada. Contudo foi este o valor utilizado para avaliação do potencial de circularidade associado ao aproveitamento de água da chuva;
- b) o consumo de água do Largo Catarina Eufémia deverá assegurar as perdas por evapotranspiração dos *Platanus sp* e da relva. As árvores necessitam de 1 138.80m<sup>3</sup>/ano e a relva 894 m<sup>3</sup>/ano, totalizando 2 032.80 m<sup>3</sup>/ano. Considera-se que a rega deste espaço verde está ajustada às suas necessidades uma vez que o consumo de água, a partir da origem convencional, é de 2 187m<sup>3</sup>/ano (tabela III.4) atribuindo-se a discrepância de valores a anomalias na rede e acessórios de rega e a limitações do modelo.
- c) O consumo de água do Jardim 1º de Maio deverá assegurar as perdas por evapotranspiração das espécies arbóreas e da relva. As árvores necessitam de 650.78 m<sup>3</sup>/ano e a relva 2 784 m<sup>3</sup>/ano, totalizando 3 434.78 m<sup>3</sup>/ano. Este consumo corresponde a 24 % do consumo anual a partir da origem convencional (14 211 m<sup>3</sup>/ano). Esta discrepância pode estar relacionada com o facto de apenas terem sido amostradas 31 % das espécies existentes ao que acresce o consumo satélite da gelataria, das instalações sanitárias públicas, do lago e dos bebedouros públicos.

Neste primeiro estudo não foi possível realizar medições *in situ* no Jardim Dr. Rosário Costa devido ao pouco tempo disponível, pelo que o estudo realizado carece de ser continuado.

O caudal de escoamento superficial evitado por espaço verde é a indicada na tabela III.18 e foi obtido multiplicando o caudal médio de escoamento superficial evitado por espécie pelo número de espécies em cada espaço verde.

**Tabela III.19** - Estimativa do escoamento superficial evitado por árvore na cidade de Grândola.

ESPÉCIE	NÚMERO DE ESPÉCIES	ESCOAMENTO SUPERFICIAL EVITADO (m <sup>3</sup> /ano)	ESCOAMENTO SUPERFICIAL EVITADO TOTAL (m <sup>3</sup> /ano)
<b>Jardim Dr. José Jacinto Nunes</b>			
<i>Acer negundo L.</i>	5	0.28	1.42
<i>Melia azedarach</i>	3	0.09	0.26
<i>Platanus sp</i>	4	0.50	2
<b>TOTAL</b>	<b>12</b>	<b>0.87</b>	<b>3.68</b>
<b>Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa</b>			
sem espécies amostradas			
<b>Largo Catarina Eufémia</b>			
<i>Platanus sp</i>	26	0.50	13.02
<b>TOTAL</b>	<b>26</b>	<b>0.50</b>	<b>192.75</b>
<b>Jardim 1º de Maio</b>			
<i>Acer negundo L.</i>	9	0.28	3.78
<i>Grevillea robusta</i>	9	0.42	0.58
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	10	0.06	131.40
<i>Platanus sp</i>	3	0.50	328.51
<b>TOTAL</b>	<b>31</b>	<b>1.26</b>	<b>345.21</b>

A totalidade das espécies analisadas são responsáveis pelo desvio de 345.21 m<sup>3</sup>/ano de água da chuva das infraestruturas municipais de drenagem de águas pluviais.

#### IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A origem de água, para usos potáveis e não potáveis, na cidade de Grândola é exclusivamente subterrânea, a partir de um aquífero que já apresenta sinais críticos de sobreexploração e em risco elevado de intrusão salina. Por ano, são consumidos 732 592 m<sup>3</sup>, dos quais 68 835 m<sup>3</sup> são consumos municipais. Destes, cerca de metade são consumidos na rega de espaços verdes. As perdas de água anuais são de cerca de 24 %.

De acordo com os índices de escassez hídrica utilizados, a gestão atual da água na cidade situa-a num cenário de escassez e de escassez absoluta, colocando em causa a satisfação das necessidades básicas humanas.

Neste contexto, além da necessidade de redução dos consumos de água associados aos usos municipais, através da redução das perdas ao longo de toda a cadeia de distribuição e armazenamento e, do uso de sistemas de rega por aspersão, no período noturno, importa elaborar um plano de ação para gestão dos consumos internos dos edifícios municipais, e, identificar origens alternativas de água, para utilização nos usos não potáveis de Grândola.

Dos usos não potáveis da cidade, a rega de espaços verdes reveste-se de extrema importância para garantir a continuidade dos serviços ecossistémicos fornecidos pelos mesmos, mais concretamente pelas árvores. Numa lógica de proximidade, foram identificadas 2 origens alternativas para rega: a água da chuva e a água descartada das piscinas municipais.

A utilização de soluções para aproveitamento de água da chuva, para rega de espaços verdes, é bastante interessante, embora apresente alguns desafios. Em regiões com baixa pluviosidade e vários meses de precipitação baixa ou nula, como é o caso de Grândola, no Alentejo, é necessário que a área de captação seja bastante extensa e que o reservatório tenha uma capacidade significativa, mesmo para áreas de rega relativamente pequenas. Isto, normalmente, limita a viabilidade económica da solução,

com a amortização do investimento a prolongar-se por muitos anos, daí que, este tipo de solução funcione melhor em climas onde há precipitação regular ao longo do ano, ou pelo menos mais meses com chuva, no entanto, do ponto de vista ambiental é sempre benéfico, e, integrado num conjunto de medidas de melhoria da eficiência hídrica, contribuirá ainda mais para reduzir o consumo de água potável, promover a circularidade e a regeneração do aquífero.

De acordo com os resultados obtidos, a água da chuva permite suprimir as necessidades de água, a partir da origem convencional, num total de 2 378 m<sup>3</sup>/ano. Este valor pode aumentar após ajuste do volume de first flush às condições locais, em termos de poluição atmosférica e tempo de precipitação. Caso se demonstre que a qualidade da água recolhida não é comprometida pode até prescindir-se do first flush.

Para potenciar o uso da água da chuva, a sinergia entre áreas de captação merece ser explorada assim como o aproveitamento da célula do antigo reservatório de água potável do Jardim Dr. Jacinto Nunes e a base do Coreto de Grândola, no Jardim Dr. Júlio Rosário Costa, para depósito. No Largo Catarina Eufémia, a única área de captação existente reduz apenas em 14 % o consumo de água a partir da rede pública, pelo que, uma opção, extremamente atrativa, seria criar áreas de captação ao redor do espaço, em formato de sombrinha invertida. Esta solução irreverente além de mitigar a dependência da água da rede pública, poderia ser utilizada para consciencialização e sensibilização ambiental.

As piscinas municipais de Grândola descartam, em média, mensalmente, 215 m<sup>3</sup> de água. Este volume, após um período de retenção, para perda do desinfetante residual, pode ser utilizado para rega do Jardim 1º de Maio, localizado na proximidade. Este contributo, em conjunto com a água da chuva captada no telhado, no total de 944 m<sup>3</sup>/ano permite reduzir em 3 826 m<sup>3</sup> anuais o consumo de água a partir da rede pública. Atendendo a que a água de renovação da piscina possui desinfetante residual, o mesmo poderá ser aproveitado para prescindir de tratamentos adicionais ou até do first flush, potenciando o volume de água passível de utilização, contudo, tratam-se de opções que carecem de validação através de monitorização em campo.

As duas origens alternativas identificadas, asseguram 5 260 m<sup>3</sup>/ano (14 m<sup>3</sup>/dia), no entanto, este acréscimo não é suficiente para melhorar a condição de escassez e escassez absoluta da cidade, apesar da melhoria nos 3 índices de escassez calculados para o cenário mais resiliente. Esta situação valida a necessidade prévia de redução dos consumos da cidade. Pese embora as conclusões obtidas, estas métricas, ou outras, podem e devem ser utilizadas para avaliar o progresso e o sucesso de quaisquer ações futuras, passando a apoiar o planeamento e a implementação de medidas.

De um modo geral, nos espaços verdes analisados, a *Melia azedarach* é a espécie que melhor sequestra CO<sub>2</sub> e produz O<sub>2</sub>. A espécie que armazena mais C é a *Grevillea robusta*. As espécies que têm maior impacto na qualidade do ar e na saúde humana, removendo maior número de poluentes por unidade de área foliar são a *Melia azedarach* (CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub> e PM<sub>10</sub>) e o *Platanus sp* (SO<sub>2</sub> e PM<sub>10</sub>), devido à quantidade e ao tamanho das folhas. Em termos de remoção individual é o *Platanus sp* que remove maior número de poluentes e em concentrações mais elevadas (O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>).

A espécie *Platanus sp*. apresenta, em termos globais, o melhor desempenho na regulação do ciclo da água em meio urbano. No extremo oposto encontra-se o *Jacaranda mimosifolia* que, de um modo geral, é a espécie com menor potencial para o fornecimento de serviços ecossistémicos, possivelmente por não ser nativa e por se encontrar desenquadrada em termos climáticos. De salientar no entanto que, a totalidade das espécies analisadas é responsável pelo desvio de 345.21 m<sup>3</sup>/ano de água da chuva das infraestruturas municipais de drenagem de águas pluviais.

Considerando que, a área foliar assume um papel preponderante no fornecimento da maioria dos serviços ecossistémicos, o uso de espécies de folha caduca e, o recurso a podas mais agressivas reveste-se de alguma sensibilidade.

A resiliência hídrica e climática da cidade de Grândola passa pela redução de consumos e pela utilização de origens alternativas em usos não potáveis, nomeadamente o

aproveitamento da água da chuva e da água descartada de piscinas. De referir que, não sendo uma origem de proximidade, nem um investimento possível no curto-médio prazo, a ApR garantiria a totalidade dos consumos não potáveis da cidade.

Em termos de serviços ecossistémicos, é importante perceber, para cada espaço verde da cidade, quais as mais valias pretendidas para os munícipes e para o ambiente, devendo nos mesmos existir espécies diferentes e de diferentes tamanhos.

Face aos resultados obtidos considera-se que, o tema merece continuar a ser estudado para se aprofundar estudos de circularidade e de otimização da água e dos espaços verdes nas cidades.

## V. REFERÊNCIAS

Adger W. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, 16, 268-281.  
<https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006>.

AEA (2021). Water resources across Europe — confronting water stress: an updated assessment. Disponível em:  
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/water-resources-across-europe-confronting>. [Acedido em agosto 2025].

AgdA (2017). Empreitada de conceção construção da ETAR de Grândola, Memória descritiva e justificativa do processo de tratamento e equipamento.

APA (2025). QualAr. Disponível em: <https://qualar.apambiente.pt/indices> [Acedido em setembro de 2025].

Helena Alegre H., Coelho S., Almeida M., Vieira P. (2015). Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição. IRAR.

Ali S., Sang Y., Pilla F., Singh V., Dilawar A. (2025). Implementing urban rainwater harvesting systems: Multiple potential performances, barriers, challenges, solutions, and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 218. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115793>.

Al-Obaidi M., Rashid F., Alsarayreh A., Mujtaba I. (2023). Simulation and optimisation of a medium scale reverse osmosis brackish water desalination system under variable feed quality: Energy saving and maintenance opportunity. *Desalination*, 565, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116831>.

Amores M., Meneses M., Pasqualino J., Antóna A., Castells A. (2013). Environmental assessment of urban water cycle on Mediterranean conditions by LCA approach. *Journal of Cleaner Production* 43, 84-92, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.12.033>.

ANQIP, 2025. Especificação Técnica ANQIP ETA 0701, Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em Edifícios (SAAP) versão 12. Associação Nacional para a qualidade nas redes prediais. Disponível em: <https://www.anqip.com/storage/2025/07/14/349/ed8c4695.pdf>. [Acedido em maio 2025].

APA (2021), Avaliação das disponibilidades hídricas atuais e futuras e aplicação do índice de escassez WEI+. Disponível em: <https://participa.pt/pt/consulta/avaliacao-das-disponibilidades-hidricas-atuais-e-futuras-e-aplicacao-do-indice-de-escassez-wei> [Acedido em junho de 2025].

APA (2023). Avaliação de risco. Disponível em: <https://apambiente.pt/agua/avaliacao-de-risco>. [Acedido em junho de 2025].

APA (2023). Água para reutilização (ApR). Disponível em: <https://apambiente.pt/agua/agua-para-reutilizacao-apr>. [Acedido em junho de 2025].

APA (2023). Licenças emitidas. Disponível em: <https://apambiente.pt/agua/licencas-emitidas>. [Acedido em maio de 2025].

APA (2024). Água Escassez de água. Disponível em: <https://rea.apambiente.pt/content/escassez-de-%C3%A1gua> [Acedido em fevereiro de 2025].

APRH (sd). Água salobra. Disponível em: <https://aprh.pt/pt/publicacoes/glossario/a/agua-salobra/>. [Acedido em junho de 2025].

Assarkhaniki Z., Sabri S., Rajabifard A., Kahalimoghadam M. (2023). Advancing sustainable development goals: embedding resilience assessment. *Sustainability Science*, 18, 2405–2421. <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01372-7>.

Babkina A., Shkarupetaa E., Tashenovaa L., Malevskaia-Malevicha E., Shchegolevab T. (2023). Framework for assessing the sustainability of ESG performance in industrial cluster ecosystems in a circular economy. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 9, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2023.100071>.

Brancalion, P., Holl, K. (2020). Guidance for successful tree planting initiatives. *Journal of Applied Ecology*, v.57, p.2349-2361. DOI: [https://doi.org/10.1111/1365\\_2664.13725](https://doi.org/10.1111/1365_2664.13725).

Brown A., Matlock M. (2011). A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies. The Sustainability Consortium. <https://sustainabilityconsortium.org/download/a-review-of-water-scarcity-indices-and-methodologies/> [Acedido em junho de 2025].

CE (2025). Water scarcity and droughts. Disponível em: [https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-scarcity-and-droughts\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/water/water-scarcity-and-droughts_en). [Acedido em junho de 2025].

Campisano A., Butler B., Ward S., Burns M., Friedler E., DeBusk K., Fisher-Jeffes L., Ghisi E., Rahman A., Furumai H, Han M. (2017). Urban rainwater harvesting systems:

Research, implementation and future perspectives. *Water Research*. 115. 195-209.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>.

Charrua H. (2014). Desertificação e reversibilidade dos problemas de desertificação. Mestrado em Arquitetura Paisagista. Universidade de Lisboa. Disponível em: <https://repositorio.ulisboa.pt/handle/10400.5/7425>. [Acedido em agosto de 2025].

Churkina G. (2008). Modeling the carbon cycle of urban systems. *Ecological modelling*. 216, 107-113. doi:10.1016/j.ecolmodel.2008.03.006.

Circle Economy sd, Circularity Gap Report 2022. Disponível em: <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Report.pdf> [Acedido em maio de 2025].

CMG (sd). Economia. Disponível em: <https://www.cm-grandola.pt/investir/economia>. [Acedido em maio de 2025].

CMG (sd). Território. Disponível em: <https://www.cm-grandola.pt/pages/271> [Acedido em fevereiro de 2025].

CMG (sd). Planície. Disponível em: <https://www.visitgrandola.com/conhecer/natureza/poi/a-planicie> [Acedido em fevereiro de 2025].

CMG (sd). Piscina Municipal. Disponível em: <https://www.cm-grandola.pt/viver/desporto/infraestruturas-desportivas/grandola-e-santa-margarida-da-serra/poi/piscina-municipal> [Acedido em junho de 2025].

CMG (2022). Piscina Municipal celebra 30 anos com entradas gratuitas. Disponível em: <https://www.cm-grandola.pt/noticia-73/piscina-municipal-celebra-30-anos-com-entradas-gratuitas> [Acedido em agosto de 2025].

CE (2025), Conselho Europeu. Alterações climáticas: medidas que a UE está a tomar. Disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/> [Acedido em maio de 2025].

Cosgrove W., Loucks D. (2015). Water management: Current and future challenges and research directions. *AGU Publications*, 51, 4823-4839. <https://doi.org/10.1002/2014WR016869>.

Cull-Host J., Sharan P., Wijk J. (2025). New Mexico as a testbed for safe beneficial produced water reuse. *Environmental Challenges*, 19, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2025.101116>.

Curto D., Franzitta V., Guercio A. (2021). A Review of the Water Desalination Technologies. *Applied Sciences*, 11, 1-36. <https://doi.org/10.3390/app11020670>.

Damkjaer S., Taylor R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Springer*, 46, 513-531. DOI 10.1007/s13280-017-0912-z.

EDO (2025). European Drought Observatory. Disponível em: <https://drought.emergency.copernicus.eu/tumbo/edo/map/?id=1051>. [Acedido em junho de 2025].

Elmqvist T., Fragkias M., Goodness J., Güneralp B., Marcotullio P., McDonald R., Parnell S., Schewenius M., Sendstad M., Seto K., Wilkinson K. (2013). Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities, A Global Assessment, A Part of the Cities and Biodiversity Outlook Project, SpringerOpen. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-7088-1> [Acedido em agosto de 2025].

Engle N., Johns O., Lemos M., Nelson D. (2011). Integrated and Adaptive Management of Water Resources: Tensions, Legacies, and the Next Best Thing. *Ecology&Society*, 16, 1-12. <https://www.jstor.org/stable/26268871>.

Eriksson E., Auffarth K., Henze M., Ledin A. (2002). Characteristics of grey wastewater. *Urban Water*, 85–104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4).

ERSAR, 2018, Guia Técnico ERSAR n.º24, ‘Uso eficiente de energia nos Serviços de Águas’. [Acedido em maio de 2025].

ERSAR (2024). RASARP 2024. Disponível em: <https://www.ersar.pt/pt/site-publicacoes/Paginas/edicoes-anuais-do-RASARP.aspx> [Acedido em junho de 2025].

European Commission (2021). *Evaluating the Impact of Nature-based Solutions: A Handbook for Practitioners (First edition)*. European Commission. Disponível em: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d7d496b5-ad4e-11eb-9767-01aa75ed71a1#:~:text=The%20Handbook%20aims%20to%20provide%20decision-makers%20with%20a,and%20Well-being%3B%20New%20Economic%20Opportunities%20and%20Green%20Jobs> [Acedido em agosto de 2025].

Eurostat (sd). Water exploitation index, plus (WEI+). Disponível em: [https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/sdg\\_06\\_60\\_esmsip2.htm](https://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/sdg_06_60_esmsip2.htm) [Acedido em julho de 2025].

Falkenmark M., Berntell A., Jägerskog A. Lundqvist J. (2007). On the Verge of a New Water Scarcity: A Call for Good Governance and Human Ingenuity Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/42765865\\_On\\_the\\_Verge\\_of\\_a\\_New\\_Water\\_Scarcity\\_A\\_Call\\_for\\_Good\\_Governance\\_and\\_Human\\_Ingenuity](https://www.researchgate.net/publication/42765865_On_the_Verge_of_a_New_Water_Scarcity_A_Call_for_Good_Governance_and_Human_Ingenuity). [Acedido em junho de 2025].

Faria A. (2012). *Cadernos técnicos Instalações desportivas – Piscinas Instalações de tratamento de água*. Disponível em: [https://ipdj.gov.pt/documents/20123/125428/1.+Caderno+Técnico\\_Inst\\_Trat\\_Agua\\_V3](https://ipdj.gov.pt/documents/20123/125428/1.+Caderno+Técnico_Inst_Trat_Agua_V3)

bb.pdf/7432322e-2e45-3da1-c72b-f6f04fb0d027?t=1575020061567 [Acedido em agosto de 2025].

Feng X., Zhang X., Cao J., Zhang L., Song H., Kou X., Ren H., Ma Y., Wang X. (2025). Case studies on the identification of environmental impact indicators in brine and distinguish the direct and indirect contributions of the desalination process. *Desalination*, 608, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2025.118860>.

Freire N. (2025), National Geographic Portugal, O ciclo da água dos oceanos à atmosfera e de volta à terra firme. Disponível em: [https://www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/ciclo-agua-oceanos-atmosfera-e-volta-terra-firme\\_4855](https://www.nationalgeographic.pt/meio-ambiente/ciclo-agua-oceanos-atmosfera-e-volta-terra-firme_4855) [Acedido em maio de 2025].

Ghinoi S., Silvestri F., Spigarelli F., Tassinari M. (2024). A methodological proposal for developing a Municipality Indicator of Circular Economy (MICE). *Resources, Conservation & Recycling*, 211, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.107871>.

Ghisi E., Ferreira D. (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment* 42, 2512–2522. doi:10.1016/j.buildenv.2006.07.019.

Hoekstra A., Wiedmann T. (2014). Humanity’s unsustainable environmental footprint. *Science*, 344, 1114–1117. DOI: 10.1126/science.124836.

Hussain M., Muscoloc A., Farooq M., Ahmadf W. (2019). Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Agricultural Water Management*, 221, 462-476. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.014>.

ICNF (2025). Sobre as espécies exóticas. Disponível em: <https://www.icnf.pt/conservacao/especiesexoticas/sobreasespeciesexoticas> [Acedido em 15/09/2025].

IPMA (2025). Clima. Disponível em: <https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/>. [Acedido em janeiro de 2025].

IPMA (2025). 2024 Ano muito quente e seco. Disponível em: [https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/news.detail.jsp?y=2025&f=boletim\\_climatologico\\_2024.html](https://www.ipma.pt/pt/media/noticias/news.detail.jsp?y=2025&f=boletim_climatologico_2024.html). [Acedido em julho de 2025].

IPQ (2017). NP 4542:2007. Piscinas Requisitos de qualidade e tratamento da água para usos nos tanques. Portugal: IPQ.

Jesus G., Rocha M., Chibite E., Motoyama M., Conte H. (2021). A biotecnologia como instrumento de sequestro de carbono: bactérias, microalgas e árvores geneticamente modificadas. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v.12, n.11, p.246- 255. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.011.0021>.

Kumar J., Choudhary M., Dikshit P., Kumar S. (2024). Recent advancements in utilizing plant-based approaches for water and wastewater treatment technologies. *Cleaner Water*, 2, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.clwat.2024.100030>.

Kuppan N., Padma M., Mahadeva M., Srinivasan S., Devarajan R. (2024). A comprehensive review of sustainable bioremediation techniques: Eco friendly solutions for waste and pollution management. *Waste Management Bulletin*, 2, 154-171. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.07.005>

Lazurko A., Schweizer V., Armitage D. (2023). Exploring “big picture” scenarios for resilience in social–ecological systems: transdisciplinary cross-impact balances modeling in the Red River Basin. *Sustainability Science*, 18, 1773–1794 <https://doi.org/10.1007/s11625-023-01308-1>.

Leitão R. (2014). Sustentabilidade na Gestão do Ciclo Urbano da Água: Simulação e Análise de Cenários. Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de

Território e Gestão do Ambiente, Universidade de Coimbra. Disponível em: [https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/38456/1/Sustentabilidade%20na%20gestao%20do%20ciclo%20urbano%20da%20agua\\_Simulacao%20e%20analise%20de%20cenarios.pdf#:~:text=O%20presente%20trabalho%20tem%20como%20objetivo%20simular%20vários,do%20Ciclo%20Urbano%20da%20Água%3A%20o%20modelo%20Aquacycle.](https://estudogeral.uc.pt/bitstream/10316/38456/1/Sustentabilidade%20na%20gestao%20do%20ciclo%20urbano%20da%20agua_Simulacao%20e%20analise%20de%20cenarios.pdf#:~:text=O%20presente%20trabalho%20tem%20como%20objetivo%20simular%20vários,do%20Ciclo%20Urbano%20da%20Água%3A%20o%20modelo%20Aquacycle.) [Acedido em maio de 2025].

Liao R. (2024). Water scarcity assessment index from the realistic perspective of human basic water requirements. *Environmental and Sustainability Indicators*, 22, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2024.100404>

Lima J., Amaral M., Lima S. (2025). Sustainable water management in the mining industry: Paving the way for the future. *Journal of Water Process Engineering*, 71, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107239>.

Liu B., Pan W., Yu C., Kumar P, Chen Y., Li J. (2025). Provincial resilience differences of water cycle in China over the past two decades. *Resources, Conservation & Recycling* 215, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2024.108096>.

Magalhães, J. (2013). ‘Aproveitamento de águas pluviais aplicação de um sistema de aproveitamento a um hospital’. Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/67854>. [Acedido em maio de 2025].

Matias P., Moreira da Silva M., Teigão J., Duarte A. (2025). Urban Vegetation Benefits in Mediterranean Cities for Climate Change Adaptation and Water Usage Efficiency – A Case Study in Algarve, Portugal. *Front. Environ. Sci.* 13:1520934. doi: 10.3389/fenvs.2025.1520934.

Mekonnen M., Hoekstra A. (2016). Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2, 1-6. <https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/sciadv.1500323>.

Molden D. (2007). *Water for food water for life – A comprehensive assessment of water management in agriculture* (First edition). Earthscan. Disponível em: [https://archive.iwmi.org/assessment/files\\_new/synthesis/Summary\\_SynthesisBook.pdf](https://archive.iwmi.org/assessment/files_new/synthesis/Summary_SynthesisBook.pdf) [Acedido em maio de 2025].

Monzonís M., Solera A., Ferrer J., Estrela T., Paredes-Arquiola J. (2015). A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, 527, 482–493, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>.

Moran D., Kanemoto K., Jiborn M., Wood R., Tobben J., Seto K. (2018). Carbon footprints of 13 000 cities. *Environmental Research Letters*, 13, 1-10. DOI 10.1088/1748-9326/aac72a.

Narendra K., Manjushree M., Adur A., Raajasubramanian D., Srinivasan S., Murali R. (2025). Self-healing water systems: the future of smart, adaptive, and regenerative water networks. *Cleaner Water*, 4, 1-16. <https://doi.org/10.1016/j.clwat.2025.100112>

Nthunya L, Pinier J., Ali A., Quist-Jensen C., Richards H. (2024). Valorization of acid mine drainage into potable water and valuable minerals through membrane distillation crystallization. *Separation and Purification Technology*, 334, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.126084>.

Observatório Europeu da Seca (2025). European Drought Observatory. Disponível em: <https://drought.emergency.copernicus.eu/tumbo/edo/map/?id=1000>. [Acedido em novembro de 2025].

Parlamento Europeu (2025). As águas da Europa: principais desafios e soluções da EU. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20250428STO28142/as-aguas-da-europa-principais-desafios-e-solucoes-da-ue#escassez-de-gua-na-europa-impacto-e-solues-7> [Acedido em maio de 2025].

Oliveira V. (2022). A Integração das Redes Hidrográficas e Pluviais no Ciclo Urbano da Água. Problemas, Perspetivas, Implicações e Soluções. Mestre em Engenharia do Ambiente — Especialização em Hidráulica, Universidade do Porto. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/140427?locale=pt>. Acedido em 2025].

Oral H., Radinja M., Rizzo A., Kearney K., Andersen T., Krzeminski P., Buttiglieri G., Ayral-Cinar D., Comas J., Gajewska M., Hartl M., Finger D., Kazak J., Mattila H., Vieira P., Piro P., Palermo S., Turco M., Pirouz B., Stefanakis A., Regelsberger M., Ursino N., Carvalho P. (2021). Management of Urban Waters with Nature-Based Solutions in Circular Cities—Exemplified through Seven Urban Circularity Challenges. MDPI - Water, 13, 1-28. <https://doi.org/10.3390/w13233334>.

Paiho S., Maki E., Wessberg N., Paavola M., Tuominen P., Antikainen M., Heikkilä J., Rozado, C. A., Jung, N. (2020). Towards circular cities—conceptualizing core aspects. Sustainable Cities and Society, 59, 1- 19. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102143>.

Palatnik, R. (2019). The economic value of seawater desalination—the case of Israel, in: G. Wittwer (Ed.), Economy-Wide Modeling of Water at Regional and Global Scales. Advances in Applied General Equilibrium Modeling, Springer, Singapore, [https://doi.org/10.1007/978-981-13-6101-2\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-13-6101-2_9).

Palatnik R., Raviv O., Sirota J., Shechter M. (2025). Water scarcity and food security in the mediterranean region: The role of alternative water sources and controlled-environment agriculture. Water Resources and Economics, 49, 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2025.100256>.

Papageorgiou A., Henrysson M., Nuur C., Sinha R., Sundberg C., Vanhuysse F. (2021). Mapping and assessing indicator-based frameworks for monitoring circular economy development at the city-level. Sustainable Cities and Society, 75, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.103378>.

Parlamento Europeu (2025). As águas da Europa: principais desafios e soluções da EU.

Disponível

em:<https://www.europarl.europa.eu/topics/pt/article/20250428STO28142/as-aguas-da-europa-principais-desafios-e-solucoes-da-ue#escassez-de-gua-na-europa-impacto-e-solues-7> [Acedido em maio de 2025].

Pearlmuttera D, Theocharib D., Nehlsc T., Pinho P., Piro P., Korolovaf A., Papaefthimioug S., Mateo M., Calheiros C., Zluwa I., Pitha U., Schosselerk P., Florentinl Y., Ouannoul S., Galm E., Aichern A., Arnoldo K., Igondováp E., Pucher B. (2020). Enhancing the circular economy with nature-based solutions in the built urban environment: green building materials, systems and sites. IWA Publishing, Blue-Green Systems Vol 2 No 1, 46-72, doi: 10.2166/bgs.2019.928.

Pereira P., Wang F., Inacio M., Kalinauskas M., Bogdzevi K., Bogunovic I., Zhao W., Barcelo D. (2024). Nature-based solutions for carbon sequestration in urban environments. Environmental Science & Health. 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2024.100536>.

Popović A., Đukić M., Milijić A. (2022). Assessment of the impact of circular economy competitiveness and innovation on european economic growth. The European Journal of Applied Economics, 19, 1-13. DOI: 10.5937/EJAE19-39057.

PUG, 2021. Plano de Urbanização de Grândola, Peças fundamentais. Disponível em [http://planeamento.cm-grandola.pt/planos\\_vigor/planos\\_urbanizacao/pu\\_GDL/](http://planeamento.cm-grandola.pt/planos_vigor/planos_urbanizacao/pu_GDL/). [Acedido em 31/01/2025].

Qadir M., Drechsel P., Cisneros B., Kim Y., Pramanik A., Mehta P. Olaniyan, O. (2020). Global and regional potential of wastewater as a water, nutriente and energy source. Wiley, 40-51. DOI:10.1111/1477-8947.12187.

Rebelo A., Farabegoli G. (2025). Water circularity index: A novel approach for authorities and operators. *Chemosphere*, 377, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2025.144366> .

Rebolledo-Leiva R., Barros M, Entrena-Barbero E., Vasquez-Ibarra L., Fernandez M., Feijoo G., Moreira M., Gonzalez-García S. (2024). Embedding Water-Energy-Food nexus and circularity assessment for organization benchmarking: A case study for dairy farms, *Waste Management*, 189, 410-420. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2024.08.038>.

Regulamento n.º 631/2017 de 20 de dezembro de 2017 da Câmara Municipal de Grândola, Diário da República: II série n.º 243. Disponível em [www.dre.pt](http://www.dre.pt). [Acedido em maio de 2025].

Regulamento n.º 630/2017 de 20 de dezembro de 2017 da Câmara Municipal de Grândola, Diário da República: II série n.º 243. Disponível em [www.dre.pt](http://www.dre.pt). [Acedido em maio de 2025].

Rijsberman F. (2006). Water scarcity: Fact or fiction?. *Agricultural Water Management*, 80, 5–22. doi:10.1016/j.agwat.2005.07.001.

Rockström J., Gupta J., Lenton T., Qin D., Lade S. Abrams J., Jacobson L., Rocha J., Zimm C., Bai X., Bala G., Bringezu S., Broadgate W., Bunn S., DeClerk F., Ebi K., Gong P., Gordon C., Kanie N., Liverman D., Nakicenovic N., Obura D., Veerabhadran R., Verburg P., Van Vuuren D., Winkelmann R. (2020). Identifying a Safe and Just Corridor for People and the Planet, *Advancing Earth and Space Science*, 10.1029/2020EF001866, 1-7, <https://doi.org/10.1029/2020EF001866>.

Rosona R., Damania R. (2017). The macroeconomic impact of future water scarcity An assessment of alternative scenario. *Journal of Policy Modeling*. 39. 1141–1162. <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2017.10.003> 0161-8938/.

Satterthwaite, D. (2011). How urban societies can adapt to resource shortage and climate change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 369, 1762–1783. <https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0350>.

Scruggs C., Thomson B. (2017). Opportunities and Challenges for Direct Potable Water Reuse in Arid Inland Communities. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 143, 04017064-1-04017064-9. DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000822.

Segun. G (2025). Main Impacts of wastewater reuse for golf courses irrigation. *Mestrado em Ciclo Urbano da Água*. Faculdade de Engenharia da Universidade do Algarve.

SNIRH, 2025. Relatório do parâmetro Precipitação mensal (mm) em GRÂNDOLA (24F/01C). Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. Available at: [https://snirh.apambiente.pt/snirh/\\_dadosbase/site/janela\\_relatorio.php?sites=920685384&pars=1436794570&tmin=09/11/1931&tmax=07/08/2025](https://snirh.apambiente.pt/snirh/_dadosbase/site/janela_relatorio.php?sites=920685384&pars=1436794570&tmin=09/11/1931&tmax=07/08/2025). [Acedido em 07/08/2025].

Tana S., Yang J., Yan J. (2015). Development of the Low-carbon City Indicator (LCCI) Framework, *Energy Procedia*, 75, 2516 – 2522. [https://doi:10.1016/j.egypro.2015.07.253](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.253).

UNESCO (2015). The United Nations World Water Development Report 2015 - Water for a sustainable World. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>. [Acedido em junho de 2025].

UNESCO (2020). The United Nations World Water Development Report 2020 - Water and climate change. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372876.locale=en>. [Acedido em junho de 2025].

UNESCO (2025). Mountains and glaciers Water towers. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000393070>. [Acedido em maio de 2025].

UN-FAO (2021), Food and Agriculture Organization of the United Nations. AQUASTAT – FAO’s Global Information System on Water and Agriculture. Disponível em: <https://www.fao.org/aquastat/en/overview/methodology/water-use> [Acedido em maio de 2025].

UN (2019), United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World Urbanization Prospects The 2018 Revision, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wup/assets/WUP2018-Report.pdf> [Acedido em maio de 2025].

UN-DESA (2024), United Nations, Department of Economic and Social Affairs. World Social Report 2024. Disponível em: <https://desapublications.un.org/publications/world-social-report-2024-0>. [Acedido em maio de 2025].

WSS (2018). O Ciclo da Água (The Water Cycle, Portuguese). Disponível em: <https://www.usgs.gov/media/images/o-ciclo-da-gua-water-cycle-portuguese>. [Acedido em maio de 2025].

Vale D. (2014). Sequestro de carbono pela floresta portuguesa: possíveis cenários de valorização económica, Mestrado em Economia e Gestão do Ambiente, Universidade do Porto. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/76846> [Acedido em maio de 2025].

Veolia (2025). O contributo da captura de carbono para a descarbonização. Disponível em: <https://www.veolia.pt/blog/o-contributo-da-captura-de-carbono-para-descarbonizacao> [Acedido em agosto de 2025].

Vorosmarty C., McIntyre P., Gessner M., Dudgeon D., Prusevich A., Green P., Glidden S., Bunn S., Sullivan C., Liermann C., Davies P. (2010). Global threats to human water

security and river biodiversity. Macmillan Publishers Limited, 467, 555-561.  
Doi:10.1038/nature09440.

Walker B., Salt D. (2012). Resilience Thinking Sustaining Ecosystems and People in a Changing World. Island Press. Disponível em: [https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=NFqFbXYbjLEC&oi=fnd&pg=PP1&ots=6qL0ZC3YL8&sig=7z9dgMW7usRytuWkThDJglZyvOY&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=NFqFbXYbjLEC&oi=fnd&pg=PP1&ots=6qL0ZC3YL8&sig=7z9dgMW7usRytuWkThDJglZyvOY&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) [Acedido em agosto de 2025].

Wikipédia, 2023, Grândola e Santa Margarida da Serra. Disponível em: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Grândola\\_e\\_Santa\\_Margarida\\_da\\_Serra](https://pt.wikipedia.org/wiki/Grândola_e_Santa_Margarida_da_Serra) [Acedido em janeiro de 2025].

Wilberforce T., Baroutajib A., Soudan B., Al-Alamic A., Olabi A. (2019). Outlook of carbon capture technology and challenges. Science of the Total Environment. 657, 56-72. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.424>.

Wilhite D., Pulwarty R. (2005). Drought as Hazard: Understanding the Natural and Social Context. ResearchGate. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/329026851\\_Drought\\_as\\_hazard\\_Understanding\\_the\\_natural\\_and\\_social\\_context](https://www.researchgate.net/publication/329026851_Drought_as_hazard_Understanding_the_natural_and_social_context) [Acedido em agosto de 2025].

WBG (2017). Uncharted waters. Disponível em: [https://www.ppa.pt/wp-content/uploads/2014/06/UNCHARTED-WATER\\_wb.pdf](https://www.ppa.pt/wp-content/uploads/2014/06/UNCHARTED-WATER_wb.pdf). [Acedido em julho de 2025].

WBG (2022). Water resources management. Disponível em: <https://www.worldbank.org/en/topic/waterresourcesmanagement>. [Acedido em maio de 2025].

WMO (2024). State of Global Water Resources 2023 Report. Disponível em: <https://wmo.int/publication-series/state-of-global-water-resources-2023> [Acedido em maio de 2025].

WMO (2025). European State of the Climate – Report 2024. Disponível em: [https://library.wmo.int/records/item/69475-european-state-of-the-climate-report-2024?language\\_id=13&back=&offset=](https://library.wmo.int/records/item/69475-european-state-of-the-climate-report-2024?language_id=13&back=&offset=). [Acedido em agosto de 2025].

Xie C., Zhang G., Jim C., Liu X., Zhang P., Qiu J. Liu D. (2021). Forests. Bioclimatic Suitability of Actual and Potential Cultivation Areas for *Jacaranda mimosifolia* in Chinese Cities. 12. 1-18. <https://doi.org/10.3390/f12070951>.

Yaziz I., Gunting H., Sapari N., Ghazali A. (1989). Variations in rainwater quality from roof catchments. *Water Research*. 23. [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(89\)90211-X](https://doi.org/10.1016/0043-1354(89)90211-X).

Zhang S., Fana W., Yib Y., Zhaoc Y., Liu J. (2017). Evaluation method for regional water cycle health based on nature-society water cycle theory. *Journal of Hydrology*, 551, 352–364. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.06.013>.

Zhao M., Li J. Zhang J., Han Y, Cao R. (2022). Research on Evaluation Method for Urban Water Circulation Health and Related Applications: A Case Study of Zhengzhou City, Henan Province. *MDPI*, 19, 1-15. <https://www.mdpi.com/1660-4601/19/17/10552>.

## ANEXOS

### ANEXO I | Figura AI.1 - Levantamento aéreo dos espaços verdes.



**ANEXO 2 | Tabela AII.1 – Potencial de aproveitamento de água da chuva | Jardim Dr. José Jacinto Nunes.**

**INFORMAÇÃO BASE**

N (dias)	C	$\eta^f$
20	0,9	0,9

**ÁREA DE CAPTAÇÃO**

Edifício	Área (A) (m <sup>2</sup> )
Edifício dos Paços do Concelho	272,69
Edifício dos Serviços Operacionais	644,89
Edifício do Setor de Planeamento	140,05
<b>TOTAL</b>	<b>1057,63</b>

**VOLUME DA CISTERNA = 16**

V1 (m <sup>3</sup> )	18,73
V2 (m <sup>3</sup> )	16,47

IDENTIFICAÇÃO	LOCALIZAÇÃO	EDIFÍCIOS PÚBLICOS COLETORES
Jardim Dr. José Jacinto Nunes	38.176599, -8.568996:	1. Edifício dos Paços do Concelho 2. Edifício dos Serviços Operacionais 3. Edifício do Setor de Planeamento
		

**SUPRIMENTO DO SISTEMA**

Volume de água no reservatório (V)		Suplemento através da rede pública (m <sup>3</sup> )
Início	Fim	
0	16	0
16	16	0
16	16	0
16	16	0
16	2	0
0	0	14,46
0	0	22,77
0	0	22,86
0	0	4,61
16	16	0
16	16	0
16	16	0

**64,71**

**POTENCIAL PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS**

Mês	Precipitação média mensal (P) (1) (mm)	Consumo mensal (CAE) (m <sup>3</sup> )	Volume aproveitável de chuva (Va) (m <sup>3</sup> )	First flush (Vd) (mm)	Suprimento do sistema (m <sup>3</sup> )	Diferenças acumuladas (m <sup>3</sup> )
jan	91,90	30	78,73	2,12	-48,65	0,00
fev	79,50	25	68,11	2,12	-43,10	0,00
mar	74,70	25	63,99	2,12	-38,99	0,00
abr	54,00	25	46,26	2,12	-21,26	0,00
mai	36,90	25	31,61	2,12	-6,61	0,00
jun	12,30	25	10,54	0,00	14,46	0,00
jul	2,60	25	2,23	0,00	22,77	0,00
ago	2,50	25	2,14	0,00	22,86	0,00
set	23,80	25	20,39	2,12	4,61	0,00
out	65,50	25	56,11	2,12	-31,11	0,00
nov	84,90	25	72,73	2,12	-47,73	0,00
dez	104,00	25	89,09	2,12	-64,09	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>632,60</b>	<b>305,08</b>	<b>89,09 Máx.</b>			

**ANEXO 2 | Tabela AII.2 – Potencial de aproveitamento de água da chuva | Jardim Dr. Júlio Rosário Costa.**

INFORMAÇÃO BASE		
N (dias)	C	$\eta_f$
20	0,9	0,9


  

ÁREA DE CAPTAÇÃO	
Edifício	Área (A) (m <sup>2</sup> )
Edifício do Departamento de Planeamento Urbanístico	177,46
Edifício da Divisão de Atividades Económicas e Fundos Comunitários	162,81
Edifício da Biblioteca Municipal	795,64
<b>TOTAL</b>	<b>1135,91</b>


  

VOLUME DA CISTERNA – 20	
V1 (m <sup>3</sup> )	20,12
V2 (m <sup>3</sup> )	85,95



Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa



38.177044, -8.567756

4. Edifício do Departamento de Planeamento Urbanístico  
5. Edifício da Divisão de Atividades Económicas e Fundos Comunitários;  
6. Edifício da Biblioteca Municipal

SUPRIMENTO DO SISTEMA		
Volume de água no reservatório (V)		Suplemento através da rede (m <sup>3</sup> )
Início	Fim	
0	16	0
16	16	0
16	16	0
16	16	0
16	2	0
0	0	14,46
0	0	22,77
0	0	22,86
0	0	4,61
16	16	0
16	16	0
16	16	0
		<b>64,71</b>

POTENCIAL PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS						
Mês	Precipitação média mensal (P) (1)	Consumo mensal (CAE)		Volume aproveitável de chuva		Suprimento do sistema
		Jardim Dr. Júlio Rosário Costa	(m <sup>3</sup> )	(Va) mensal	First flush (Vd)	
	(mm)			(m <sup>3</sup> )	(mm)	(m <sup>3</sup> )
jan	91,90	28	84,56	2,27		-56,64
fev	79,50	26	73,15	2,27		-47,24
mar	74,70	24	68,73	2,27		-44,36
abr	54,00	41	49,68	2,27		-8,41
mai	36,90	85	33,95	2,27		51,51
jun	12,30	220	11,32	0,00		208,50
jul	2,60	210	2,39	0,00		207,97
ago	2,50	92	2,30	0,00		89,34
set	23,80	288	21,90	2,27		265,65
out	65,50	336	60,27	2,27		276,10
nov	84,90	183	78,12	2,27		104,89
dez	104,00	58	95,69	2,27		-37,60
<b>TOTAL</b>	<b>632,60</b>	<b>1592</b>		<b>95,69</b> <i>Máx.</i> <b>2,30</b> <i>Min.</i>		


**ANEXO 2 | Tabela AII.3 – Potencial de aproveitamento de água da chuva | Jardim Dr. Jacinto Nunes e Jardim Dr. Júlio Rosário Costa.**

INFORMAÇÃO BASE			SUPRIMENTO DO SISTEMA		
N (dias)	C	$\eta_f$	Volume de água no reservatório (V)		
20	0,9	0,9	Início	Fim	Suplemento (m <sup>3</sup> )
			0	87	0
			87	87	0
			87	87	0
			87	87	0
			87	109	108,93
			85	0	225,03
			0	0	106,70
			0	0	217,97
			0	0	101,06
			0	87	0,00
			87	87	0,00
			<b>760</b>		


ÁREA DE CAPTAÇÃO		VOLUME DA CISTERNA = 87	
Edifício	Área (A) (m <sup>2</sup> )	V1 (m <sup>3</sup> )	86,91
Edifício do Departamento de Planeamento Urbanístico	177,46	V2 (m <sup>3</sup> )	102,43
Edifício da Divisão de Atividades Económicas e Fundos Comunitários	162,81		
Edifício da Biblioteca Municipal	795,64		
Edifício dos Paços do Concelho	272,69		
Edifício dos Serviços Operacionais	3357,89		
Edifício do Setor de Planeamento	140,05		
<b>TOTAL</b>	<b>4906,54</b>		



Jardim Dr. Júlio do Rosário Costa

38.177044, -8.567756;



Jardim Dr. Jacinto Nunes

4. Edifício do Departamento de Planeamento Urbanístico

5. Edifício da Divisão de Atividades Económicas e Fundos Comunitários;

6. Edifício da Biblioteca Municipal

Com contributo do Jardim Dr. Jacinto Nunes se instalada uma cisterna de 20m<sup>3</sup>

POTENCIAL PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS							
Mês	Precipitação média mensal (P) (l)	Consumo mensal (CAE)		Volume aproveitável de chuva (Va) mensal	First flush (Vd)	Suprimento do sistema	Diferenças acumuladas
		Jardim Dr. Jacinto Nunes + Dr. Júlio Rosário Costa					
	(mm)	(m <sup>3</sup> )		(m <sup>3</sup> )	(mm)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
jan	91,90	58		365,24	9,81	-307,24	0,00
fev	79,50	51		315,96	9,81	-265,04	0,00
mar	74,70	49		296,88	9,81	-247,51	0,00
abr	54,00	66		214,61	9,81	-148,33	0,00
mai	36,90	110		146,65	9,81	-36,19	0,00
jun	12,30	245		48,88	0,00	195,93	195,93
jul	2,60	235		10,33	0,00	225,03	420,96
ago	2,50	117		9,94	0,00	106,70	527,67
set	23,80	313		94,59	9,81	217,97	745,63
out	65,50	361		260,32	9,81	101,06	846,69
nov	84,90	208		337,42	9,81	-129,41	0,00
dez	104,00	83		413,33	9,81	-330,23	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>632,60</b>	<b>1 897</b>		<b>413,33</b> <i>Máx.</i>	<b>9,94</b> <i>Mín.</i>		

**ANEXO 2 | Tabela AII.4 – Potencial de aproveitamento de água da chuva | Largo Catarina Eufémia**

INFORMAÇÃO BASE		
N (dias)	C	$\eta_f$
20	0,9	0,9

ÁREA DE CAPTAÇÃO	
Edifício	Área (A) (m <sup>2</sup> )
Edifício da antiga Rodoviária Nacional	679,19
<b>TOTAL</b>	<b>679,19</b>

VOLUME DA CISTERNA = 12	
V1 (m <sup>3</sup> )	12,03
V2 (m <sup>3</sup> )	118,09

Largo Catarina Eufémia		38.176024, -8.565509		7. Edifício da antiga Rodoviária Nacional	
					

SUPRIMENTO DO SISTEMA		
Volume de água no reservatório (V)		Suplemento (m <sup>3</sup> )
Início	Fim	
0	12	0
12	12	0
12	12	0
12	0	555,65
0	0	36,79
0	0	330,87
0	0	33,84
0	0	811,62
0	0	97,45
0	0	23,58
0	12	0,00
12	12	0,00
		<b>1 890</b>

POTENCIAL PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS						
Mês	Precipitação média mensal (P) (1) (mm)	Consumo mensal (CAE) Jardim Largo Catarina Eufémia (m <sup>3</sup> )		Volume aproveitável de chuva (Va) mensal (m <sup>3</sup> )		Diferenças acumuladas (m <sup>3</sup> )
					First flush (Vd) (mm)	
jan	91,90	30		50,56	1,36	0,00
fev	79,50	30		43,74	1,36	0,00
mar	74,70	34		41,10	1,36	0,00
abr	54,00	597		29,71	1,36	567,68
mai	36,90	57		20,30	1,36	604,47
jun	12,30	338		6,77	0,00	935,34
jul	2,60	35		1,43	0,00	969,18
ago	2,50	813		1,38	0,00	1780,81
set	23,80	111		13,09	1,36	1878,26
out	65,50	60		36,03	1,36	1901,84
nov	84,90	36		46,71	1,36	0,00
dez	104,00	47		57,21	1,36	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>632,60</b>	<b>2 187</b>		<b>57,21</b> <i>Máx.</i>	<b>1,38</b> <i>Min.</i>	

**ANEXO 2 | Tabela AII.5 – Potencial de aproveitamento de água da chuva | Jardim 1º de Maio**

INFORMAÇÃO BASE		
N (dias)	C	$\eta^f$
20	0,9	0,9

ÁREA DE CAPTAÇÃO	
Edifício	Área (A) (m <sup>2</sup> )
Jardim 1º de Maio	1 908,76
<b>TOTAL</b>	<b>1908,76</b>

VOLUME DA CISTERNA =	
V1 (m <sup>3</sup> )	34
V2 (m <sup>3</sup> )	767,38

SUPRIMENTO DO SISTEMA				
Volume de água no reservatório (V)		Suplemento	Volume de água da chuva passível de utilização	Redução mensal
Início	Fim	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(%)
0	0	833	138,27	17
0	0	858	119,10	14
0	0	915	111,68	12
0	0	904	79,67	9
0	0	1461	53,23	4
0	0	1312	19,02	1
0	0	1433	4,02	0
0	0	1604	3,87	0
0	0	2112	32,98	2
0	0	1223	97,45	8
0	0	883	127,45	14
0	0	672	156,98	23
		<b>14 211</b>	<b>944</b>	<b>9</b>

POTENCIAL PARA APROVEITAMENTO DE AGUAS PLUVIAIS						
Mês	Precipitação média mensal (P) (1)	Consumo mensal (CAE)	Volume aproveitável de chuva		Suprimento do sistema	Diferenças acumuladas
		Jardim 1º de Maio	(Va) mensal	First flush (Vd)		
	(mm)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(mm)	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
jan	91,90	833	142,09	3,82	691,17	691,17
fev	79,50	858	122,91	3,82	735,37	1 426,54
mar	74,70	915	115,49	3,82	799,22	2 225,77
abr	54,00	904	83,49	3,82	820,80	3 046,57
mai	36,90	1461	57,05	3,82	1 404,08	4 450,65
jun	12,30	1312	19,02	0,00	1 293,23	5 743,88
jul	2,60	1433	4,02	0,00	1 428,61	7 172,48
ago	2,50	1604	3,87	0,00	1 600,13	8 772,62
set	23,80	2112	36,80	3,82	2 074,71	10 847,33
out	65,50	1223	101,27	3,82	1 121,86	11 969,18
nov	84,90	883	131,26	3,82	751,99	12 721,18
dez	104,00	672	160,79	3,82	511,46	13 232,63
<b>TOTAL</b>	<b>632,60</b>	<b>14 211</b>	<b>160,79</b> <i>Máx.</i>	<b>3,87</b> <i>Mín.</i>		