

**Diogo Filipe Saraiva Rebelo**

**SERVIÇOS DOS ECOSSISTEMAS PROVIDENCIADOS  
PELO ARVOREDO URBANO DA CIDADE DE LOULÉ**



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

Faculdade de Ciência e Tecnologia

**2023**

**Diogo Rebelo**

**Diogo Filipe Saraiva Rebelo**

**SERVIÇOS DOS ECOSSISTEMAS PROVIDENCIADOS  
PELO ARVOREDO URBANO DA CIDADE DE LOULÉ**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Arquitetura Paisagista

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Doutora Inês Marques Duarte

Orientador: Prof.<sup>a</sup> Doutora Paula Gomes Silva



**UNIVERSIDADE DO ALGARVE**

Faculdade de Ciência e Tecnologia

**Faro, 2023**

# **SERVIÇOS DOS ECOSSISTEMAS PROVIDENCIADOS PELO ARVOREDO URBANO DA CIDADE DE LOULÉ**

## **Declaração de autoria de trabalho**

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

---

**Diogo Filipe Saraiva Rebelo**

## **Copyright by**

**Diogo Filipe Saraiva Rebelo**

A Universidade do Algarve tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar este trabalho através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, de o divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

*À minha namorada Jéssica Quinta por todo o apoio e ajuda, sem ela nunca teria acabado esta importante etapa da minha vida.*

## **Agradecimentos**

À Professora Doutora Inês Duarte e à Professora Doutora Ana Paula Silva, que aceitaram o meu pedido para serem as orientadoras deste trabalho, por terem tido paciência, por terem ajudado bastante e aconselhado na concretização desta dissertação.

À Camara Municipal de Loulé, à Divisão de Espaços Verde Mobiliário Urbano e Jardins (DEVMUJ) e à Unidade Operacional de Espaços Verdes e Jardins (UOEJVJ), principalmente ao chefe da unidade Mário Ferreira, pela disponibilidade e apoio, e pelo interesse no tema da dissertação que irá beneficiar, tanto o Município de Loulé, como todos os seus munícipes.

À minha namorada Jéssica Quinta que colaborou na realização deste trabalho, por se ter levantado todos os dias de madrugada e por ter abdicado dos feriados e fim de semanas para auxiliar no trabalho de campo.

À minha família, aos meus pais e às minhas irmãs, pelo apoio e conselhos, por acreditarem sempre em mim.

A todos que contribuíram para a concretização e sucesso deste trabalho.

## Resumo

As árvores urbanas são elementos estruturantes das cidades, cujo valor em serviços providenciados é geralmente desconhecido e não tem sido considerado na gestão da arborização pública. As árvores proporcionam diversos benefícios ao ser humano, quer sejam ecológicos, ambientais, sociais, económicos, culturais ou simbólicos. A quantificação dos serviços dos ecossistemas (SE) vai ao encontro do estabelecido no Decreto-lei nº. 59/2021 de 18 de agosto, o qual irá permitir uma melhor gestão do arvoredo urbano na cidade de Loulé.

O presente trabalho tem como objetivo quantificar os SE providenciados pelo arvoredo urbano da cidade de Loulé. Com isto caracteriza e identifica os benefícios associados ao arvoredo urbano de Loulé e as suas freguesias de São Clemente e São Sebastião.

Foi recolhido um conjunto de dados em campo (PAP, altura, diâmetros e saúde de copa, alturas, entre outros), de uma amostra de arvoredo de arruamento com 1003 árvores, e posteriormente utilizada a ferramenta i-Tree, para a quantificação dos benefícios do arvoredo urbano.

A partir dos resultados da amostra, submetidos ao i-Tree, foram apresentados os SE do arvoredo urbano da cidade de Loulé (armazenamento de C, sequestro bruto de C, produção de oxigénio, remoção de poluentes, escoamento superficial evitado, eficiência energética). Por fim, os resultados foram extrapolados para o total de árvores de arruamento existentes em Loulé.

Para as 1003 árvores de arruamento amostradas estima-se o armazenamento de carbono em 105,67 toneladas (12800,00 €), o sequestro anual de carbono em 8,68 toneladas (2050,63 €/ano), a produção de oxigénio em 23,14 toneladas, a remoção de poluentes em 184,10 kg (177,0€), o escoamento superficial evitado em 36,1m<sup>3</sup> (431,3€) e a poupança energética em 786€. Estes benefícios resultam num total de valor de substituição estimado em 825396,51 €.

**Palavras-chave:** Árvores Urbanas; Árvores de Arruamento; i-Tree; Sequestro de Carbono; Armazenamento de Carbono; Produção de Oxigénio; Valorização dos Serviços dos Ecossistemas.

## **Abstract**

Urban trees are structuring elements of cities, whose value in services provided is generally unknown and has not been considered in the management of public tree planting. Trees provide various benefits to humans, ecological, environmental, social, economic, cultural, or symbolic. The quantification of ecosystem services (ES) meets the established in Decree-Law no. 59/2021 of August 18, which will allow better management of urban tree planting in the city of Loulé.

This work aims to quantify the ES provided by the urban tree canopy of the city of Loulé. With this, it characterizes and identifies the benefits associated with the urban tree canopy of Loulé and its parishes of São Clemente and São Sebastião.

A set of data was collected in the field (CBH, height, diameters and crown health, heights, among others), from a sample of street tree planting with 1003 trees, and subsequently used the i-Tree tool for quantifying the benefits of urban tree planting.

From the results of the sample submitted to i-Tree, the ES of the urban tree canopy of the city of Loulé were presented (C storage, gross C sequestration, oxygen production, pollutant removal, avoided runoff, energy efficiency). Finally, the results were extrapolated to the total number of street trees existing in Loulé.

For the 1003 sampled street trees it is estimated carbon storage at 105,67 tons (€12800,00), annual carbon sequestration at 8,68 tons (€2050,63/year), oxygen production at 23,14 tons, pollutant removal at 184,10 kg (€177,0), avoided runoff at 36.1m<sup>3</sup> (€431,3) and energy savings at €786. These benefits result in a total estimated replacement value of €825396,51.

**Keywords:** Urban Trees; Street Trees; i-Tree; Carbon Sequestration and Storage; Oxygen Production; Valuation of Ecosystem Services.

## Índice

<b>1. Introdução</b> .....	1
<b>1.1. Objetivos</b> .....	2
<b>2. Os serviços dos ecossistemas do arvoredo urbano</b> .....	4
<b>2.1. Arvoredo urbano e a sua importância</b> .....	4
<b>2.2. Serviços dos ecossistemas</b> .....	5
<b>2.2.1. Benefícios ecológicos das árvores urbanas</b> .....	6
<b>2.2.2. Benefícios sociais</b> .....	8
<b>2.3. Custos e problemas associados ao arvoredo urbano</b> .....	8
<b>2.4. Principais métodos de avaliação dos SE de árvores urbanas</b> .....	9
<b>2.4.1. Método i-Tree</b> .....	11
<b>2.5. Casos de estudo do arvoredo urbano</b> .....	11
<b>2.5.1. Benefícios e custos das árvores de arruamento em Lisboa</b> .....	12
<b>2.5.2. Desempenho das áreas verdes urbanas na proficiência dos serviços de ecossistema: um caso de estudo no Porto, Portugal.</b> .....	13
<b>2.5.3. Investigar o efeito das árvores na qualidade urbana em Dublin, combinando a monitorização do ar utilizado o modelo i-Tree Eco.</b> .....	13
<b>3. Métodos</b> .....	15
<b>3.1. Enquadramento da área em estudo</b> .....	15
<b>3.2. Dados e resultados que se obtêm do i-Tree</b> .....	17
<b>3.3. Definição de área de arruamento</b> .....	19
<b>3.4. Seleção da amostra de árvores na cidade de Loulé</b> .....	20
<b>3.4.1. Material utilizado</b> .....	22
<b>3.5. Diversidade arbórea</b> .....	24
<b>3.6. Relação altura DAP das espécies de arvoredo urbano em Loulé</b> .....	25
<b>4. Resultados</b> .....	26
<b>4.1. Caracterização e análise da amostra</b> .....	26
<b>4.1.1. Diversidade de árvores de arruamento - Índice de Shannon</b> .....	30
<b>4.2. Quantificação dos serviços dos ecossistemas das árvores de Loulé</b> .....	30
<b>4.2.1. Armazenamento de carbono (C)</b> .....	30

4.2.2.	Sequestro bruto de carbono (C) .....	32
4.2.3.	Produção de oxigênio (O <sub>2</sub> ) .....	34
4.2.4.	Remoção de poluentes .....	35
4.2.5.	Escoamento superficial evitado .....	44
4.3.	Desserviços .....	45
	Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) .....	45
4.4.	Eficiência energética .....	48
4.5.	Valor de substituição do arvoredo .....	49
4.6.	Extrapolação dos resultados .....	50
5.	Discussão dos Resultados .....	52
6.	Conclusão .....	55
7.	Referências bibliográficas .....	56
ANEXO I	.....	64
ANEXO II	.....	68

## Índice de figuras

Figura 1 - Região do Algarve a branco e o concelho de Loulé a amarelo (CAOP 2022) .....	15
Figura 2 - Freguesias da Cidade de Loulé. Fonte: CAOP 2022 .....	16
Figura 3 -Árvores de arruamento de Loulé. (Fonte: CML) .....	17
Figura 4 - Esquema do funcionamento do i-Tree Eco, dados introduzidos (à esquerda), resultados obtidos (à direita). (Fonte: i-Tree Eco v6.0 User Manual) .....	19
Figura 5 - Árvores de arruamento de Loulé a verde-escuro e a amostra a amarelo. ....	21
Figura 6 - Fita Métrica de 20m. Fonte: <a href="https://www.stanleyworks.pt/">https://www.stanleyworks.pt/</a> .....	23
Figura 7 -Distanciômetro a laser e as suas funcionalidades. Fonte: <a href="https://www.mileseeytools.com">https://www.mileseeytools.com</a> . ....	23
Figura 8 - Tablet usado no registo dos dados. Fonte: <a href="https://www.samsung.com/pt/tablets">https://www.samsung.com/pt/tablets</a> ....	24
Figura 9 . Bússola .....	24
Figura 10 - Abundância de cada espécie no total da amostra.....	27
Figura 11 - Representatividade das espécies na freguesia de São Clemente .....	29
Figura 12 - Representatividade das espécies na freguesia de São Sebastião .....	29
Figura 13 - Valores monetários em euros para as dez espécies com maior armazenamento de carbono do total da amostra.....	32
Figura 14 - Valores monetários em euros/ano para as dez espécies com maior sequestro de carbono do total da amostra.....	34
Figura 15 - Valores monetários em euros/ano para as dez espécies com maiores valores de remoção de poluentes. ....	43
Figura 16 -Valores monetários em euros/ano para as cinco espécies que mais contribuem para o escoamento de águas evitado do total da amostra. ....	45
Figura 17 - Estimativa da emissão de isopreno para as dez espécies com maiores emissões. 47	
Figura 18 - Estimativa da emissão de monoterpeno para as dez espécies com maiores emissões. ....	48
Figura 19 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal), para a espécie <i>Celtis australis</i> .....	65
Figura 20 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal) para a espécie <i>Melia azedarach</i> .....	65
Figura 21 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal), para a espécie <i>Jacaranda mimosifolia</i> .....	66
Figura 22 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal), para a espécie <i>Styphnolobium japonicum</i> .....	66
Figura 23 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal), para a espécie <i>Platanus x hybrida</i> ...	67

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Serviços de Ecossistema (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).....	6
Tabela 2 - Relação entre a distribuição de árvores de arruamento existentes e as amostradas, pelas freguesias de São Sebastião e São Clemente. ....	20
Tabela 3 - Espécie dominantes da amostra e de cada freguesia .....	26
Tabela 4 - Caraterização da amostra por espécie amostrada .....	27
Tabela 5 - Comparação entre freguesias (S= número de espécies; SHDI max= diversidade máxima por potencial em cada freguesia; SHDI = índice de Shannon, para cada freguesia). ..	30
Tabela 6 - Armazenamento de carbono (kg). A negrito os valores mais significativos no total geral. ....	31
Tabela 7 - Sequestro bruto de carbono (kg/ano). A negrito os valores mais significativos no total geral.....	33
Tabela 8 - Produção de oxigénio (kg/ano). A negrito os valores mais significativos no total geral. ....	35

Tabela 9 - Remoção de poluentes CO. A negrito os valores mais significativos no total geral.	36
Tabela 10 - Remoção de poluentes O3. A negrito os valores mais significativos no total geral.	37
Tabela 11 - Remoção de poluentes PM10. A negrito os valores mais significativos no total geral.	39
Tabela 12 - Remoção de poluentes PM2.5. A negrito os valores mais significativos no total geral.	40
Tabela 13 - Remoção de poluentes SO2. A negrito os valores mais significativos no total geral.	41
Tabela 14 - Remoção de poluentes NO2. A negrito os valores mais significativos no total geral.	42
Tabela 15 - Escoamento superficial evitado. A negrito os valores mais significativos no total geral.	44
Tabela 16 - Produção de VOCs g/ano. A negrito os valores mais significativos no total geral.	46
Tabela 17 - Valores anuais de poupança energética devido à proximidade das árvores aos edifícios	49
Tabela 18 - Valores anuais de poupança energética (€)	49
Tabela 19 - Valor total de substituição do arvoredo amostrado. A negrito as espécies com valor unitário mais elevado.	50
Tabela 20 - Extrapolação de resultados	51
Tabela 21 - Comparação de resultados entre os principais estudos realizados em Portugal....	54

## 1. Introdução

A presente dissertação, conducente ao grau de Mestre em Arquitetura Paisagista, foi realizada no âmbito do plano curricular do Mestrado em Arquitetura Paisagista, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade do Algarve.

As árvores, em situação de arruamento ou localizadas em parques e jardins, públicos e privados, no interior ou na periferia da cidade, constituem uma infraestrutura urbana relevante para melhorar e valorizar os serviços dos ecossistemas (SE), ecológicos e sociais (Soares *et al.*, 2022). Para além de proporcionarem uma diversidade de bens e serviços (Soares *et al.*, 2011) aproximam o meio natural/rural do interior da cidade, trazendo consigo toda a biodiversidade inerente ao meio natural, sendo esta a base dos corredores verdes.

De acordo com Millenium Ecosystem Assessment (2005), os SE são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. No caso do tema da dissertação, o foco será relacionado com os benefícios proporcionados pelo arvoredo urbano, procedendo à avaliação dos SE providenciados pelo arvoredo urbano da cidade de Loulé. Alguns dos SE proporcionados pelo arvoredo urbano mais conhecidos são, por exemplo, a captura de CO<sub>2</sub> e de outros poluentes, a melhoria da qualidade do ar das cidades; a produção de O<sub>2</sub>, a renovação do ar; e a providência de sombra e frescura, minimizando as ilhas de calor e aumentando a manutenção de humidade local, e consequentemente mitigando os efeitos das alterações climáticas (Abdollahi *et al.*, 2000; Safford, H. *et al.*, 2013). Conhecer a importância e valor da floresta urbana, permite a tomada de decisões fundamentadas e o desenvolvimento de ferramentas para a gestão do arvoredo urbano (Nowak *et al.*, 2002). Estes serviços reforçam os atuais desafios de quantificar e valorizar os SE, assegurar e valorizar a biodiversidade, à adaptação às alterações climáticas e aumento de resiliência do sistema urbano, sempre com o intuito de tornar as cidades mais sustentáveis, resilientes e promover o conforto urbano (Camps-Calvet *et al.*, 2016).

O crescente interesse e preocupação da sociedade com o arvoredo urbano, levou recentemente à publicação do Regime jurídico de gestão do arvoredo urbano (D.L. n.º 59/2021 de 18 de agosto), dirigido aos municípios, no qual se pretende a regulamentação da gestão do arvoredo urbano. O documento regula as operações de poda, os transplantes, os critérios aplicáveis ao abate e à seleção de espécies a plantar, e requer a inventariação do arvoredo urbano municipal. É uma base para o desenvolvimento de ferramentas de gestão e planeamento do arvoredo urbano. A

presente investigação irá servir também como base ao desenvolvimento destas ferramentas, para que as mesmas tenham suporte científico e permitindo a caracterização de um cenário inicial para monitorização.

Os diversos benefícios do arvoredo urbano contribuem para a melhoria da qualidade de vida da população. Serão apresentados os resultados relativos a avaliação dos serviços de ecossistemas proporcionados pelo arvoredo da amostra definida.

O desenvolvimento de parâmetros de qualificação do arvoredo no âmbito dos SE e a sua quantificação é baseado na aplicação i-Tree, este é um dos exemplos de ferramentas para calcular os SE (Millward and Sabir *et al.*, 2011; Roy *et al.*, 2012; Hilde and Paterson *et al.*, 2014; McPherson *et al.*, 2016; Selmi *et al.*, 2016; Bodnaruk *et al.*, 2017; Lin *et al.*, 2020; Graça *et al.*, 2018; Soares *et al.*, 2022).

A utilização do método i-Tree na avaliação das árvores permitiu fazer uma análise da estrutura do arvoredo e avaliação dos seus benefícios ambientais em outras cidades de Portugal, Lisboa e Porto, de forma a criar uma base para um melhor planeamento e gestão da floresta urbana (Graça *et al.*, 2018; Soares *et al.*, 2022). A metodologia utilizada nas cidades referidas anteriormente é aplicada na cidade de Loulé para as árvores de arruamento.

## **1.1. Objetivos**

Como referido, diversos estudos abordaram a temática da avaliação dos SE no arvoredo urbano (Soares *et al.*, 2011; Graça, 2018; Riondato *et al.*, 2020) com aplicação de metodologias semelhantes à que será aplicada no presente estudo.

Soares *et al.*, (2011) avaliou os benefícios e os custos das árvores de arruamento em Lisboa, com utilização da ferramenta Stratum, uma antecessora do atual i-Tree. Mais tarde (Soares *et al.*, 2022), no projeto LX-Tree, avaliaram os SE prestados pelas árvores de arruamento em Lisboa (Nunes *et al.*, 2021) o que permite uma comparação dos ganhos na cidade na qualidade o ar, e nos SE proporcionados pelo mesmo; Graça, (2018) avaliou no Porto o desempenho das áreas verdes urbanas na proficiência dos serviços de ecossistema. Riondato *et al.*, (2020) investigou o efeito das árvores na qualidade urbana do ar em Dublin, combinando a monitorização do ar com a utilização do modelo i-Tree Eco.

As ferramentas como o i-Tree, o qual será utilizado no presente estudo, são frequentemente utilizadas para a quantificação dos SE.

De acordo com as metodologias referidas, também aqui será efetuada a caracterização de uma amostra do arvoredo, a partir de dados recolhidos no trabalho de campo, os quais serão processados pela aplicação i-Tree. A informação a recolher relaciona-se com a fisiologia e a ecologia das espécies de árvores para obter resultados, valores concretos em unidades e valor monetário, dos SE providenciados, como: a captura de carbono (kg/ano), o armazenamento de carbono (kg/ano), o oxigénio produzido (kg/ano), os poluentes removidos (g/ano) e o escoamento evitado (m<sup>3</sup>/ano).

O objetivo principal da dissertação é identificar os benefícios que as árvores proporcionam, caracterizar o arvoredo urbano da cidade de Loulé, utilizar o método i-Tree para quantificar os SE e avaliar a diversidade de espécies arbóreas presente, nas duas freguesias que integram a área urbana da cidade de Loulé.

Informação sobre os SE pode ser divulgada à população, para a sensibilização sobre os benefícios do arvoredo urbano, o que irá apoiar a autarquia e os decisores políticos na gestão e manutenção do arvoredo. Permitirá uma melhor compreensão do importante papel da árvore na cidade de Loulé e nas cidades em geral.

## 2. Os serviços dos ecossistemas do arvoredo urbano

### 2.1. Arvoredo urbano e a sua importância

O arvoredo urbano é responsável pela mitigação de impactos causados pelos processos de urbanização, nomeadamente: a sombra que as árvores proporcionam, tem um efeito de regulação climática, sendo eficaz no controlo da temperatura e tendo uma ação direta na redução das ilhas de calor urbano (Kuser *et al.*, 2007; Grilo, F. *et al.*, 2020); a sombra e manutenção da humidade do ar têm também um efeito indireto sobre o consumo energético dos edifícios, principalmente nos meses de maior calor (verão), diminuindo o uso de equipamentos elétricos tais como ventoinhas ou ar condicionado (USDA *et al.*, 2020); a filtragem de poluentes nocivos do ar para a saúde humana, têm origem a partir do uso de combustíveis fósseis, podendo provocar problemas respiratórios como o agravamento dos sintomas de asma, a redução da função pulmonar, entre outros problemas respiratórios (Stieb *et al.*, 2009), tais como monóxido de carbono (CO), ozono (O<sub>3</sub>), partículas de matéria menores que 2.5 µm e partículas menores 10 µm (e maiores que 2.5 µm) respetivamente PM2.5 e PM10, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>); a captura e armazenamento de gases de efeito estufa, tal como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (McLean *et al.*, 2020), melhorando a qualidade do ar (Stieb *et al.*, 2009); a mitigação dos efeitos da chuva torrencial, favorecendo a infiltração da água nas caldeiras das árvores ou áreas não pavimentadas sobre a copa (McLean *et al.*, 2020); e por fim, tem também um efeito de redução dos níveis de ruído (Kuser *et al.*, 2007).

Árvores de maior porte correspondem a uma maior providência de serviços dos ecossistemas (SE). As árvores de grande porte e saudáveis podem remover até entre 60 e 70 vezes mais poluição do ar do que as árvores menores (Mcpherson *et al.*, 1994), tendo um metabolismo maior, mais robusto e correspondendo a maior superfície foliar e também a mais carbono armazenado.

Para além destes benefícios, as árvores melhoram o ecossistema urbano, promovem a existência de biodiversidade dentro da cidade, uma vez que funcionam como fonte de alimento e de proteção de fauna (Pastorinho *et al.*, 2013; Nunes *et al.*; 2021). A nível estético, as árvores são dos elementos principais na composição das ruas, avenidas, praças, entre outros espaços, marcando a paisagem urbana, através da sua presença, da sua organização espacial e da sua integração no espaço (Pastorinho *et al.*, 2013). A nível social, a árvore desempenha um papel fundamental na saúde mental e física, assumindo uma representação do natural em contraste ao edificado e

artificial das cidades (Donovan *et al.*, 2013). No que respeita ao património, o arvoredo tem uma função económica, uma vez que a existência de árvores contribui para a valorização patrimonial devido ao seu valor paisagístico/estético que se integra na composição do espaço urbano (Pastorinho *et al.*, 2013).

## **2.2. Serviços dos ecossistemas**

Mais de metade da população mundial vive nas cidades. O desenvolvimento e crescimento da população humana leva à rápida urbanização e crescimento de áreas urbanas com uma previsão que a população urbana continue a crescer e que chegue aos 5 mil milhões de habitantes até 2030 (United Nations *et al.*, 2012). As cidades oferecem diversos benefícios e permitem uma melhoria do nível de qualidade de vida, com oportunidades de trabalho, melhores serviços de saúde e educação, entre outros. Mas também são também causadoras de impactos negativos, principalmente a nível ambiental e da saúde humana, afetando a qualidade do ar, da água, o aumento da poluição e da temperatura, o efeito das ilhas de calor, inundações e secas (Soares *et al.*, 2022).

Suscitada pela grande preocupação na sustentabilidade ambiental, na saúde e no bem-estar das populações, procuram-se, a nível global, formas de mitigar os impactos negativos causados pela urbanização e pelas alterações climáticas. O papel dos espaços verdes nas cidades é amplamente reconhecido, pelo conjunto de benefícios que proporcionam ao nível da saúde mental e física, bem como, no âmbito ambiental (Danielle F. *et al.*, 2015).

No entanto, nos últimos anos têm sido desenvolvidos cada vez mais trabalhos sobre os SE, de forma a aumentar o conhecimento sobre os benefícios das árvores contribuindo assim para uma melhor compreensão do tema em questão. A quantificação e valorização dos SE providenciados pelas árvores de arruamento é uma forma de assegurar, nas cidades, a valorização da biodiversidade, a adaptação às alterações climáticas e o aumento de resiliência do sistema urbano, sempre com o intuito de tornar as cidades mais sustentáveis, resilientes e promover o conforto urbano (Camps-Calvet *et al.* 2016). A degradação dos SE causa danos na qualidade de vida das populações (MEA *et al.*, 2005).

De acordo com Millenium Ecosystem Assessment (2005) os SE são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas. Os SE estão organizados em

quatro grupos: provisão; regulação; culturais e suporte (Burkhard *et al.*, 2012) (Tabela 1).

A presente investigação está direcionada para os benefícios proporcionados pelo arvoredo urbano (Serviços de regulação e serviços de suporte) os quais são referidos de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Serviços de Ecossistema (MEA *et al.*, 2005).

<p><b>Serviços de provisão</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alimento</li> <li>• Água doce</li> <li>• Combustível a partir da madeira</li> <li>• Fibras</li> <li>• Recurso bioquímicos e farmacêuticos</li> <li>• Recursos genéticos</li> </ul>	<p><b>Serviços de regulação</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Regulador de temperatura</li> <li>• Regulador de doenças</li> <li>• Controlo de inundações</li> <li>• Purificação da água</li> <li>• Polinização</li> </ul>	<p><b>Serviços culturais</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Recreação</li> <li>• Estético</li> <li>• Espiritual</li> <li>• Religioso</li> <li>• Educacional</li> <li>• Cultural</li> </ul>
<p><b>Serviços de suporte</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Formação de Solo</li> <li>• Ciclo de nutrientes</li> <li>• Produção primária</li> </ul>		

### 2.2.1. Benefícios ecológicos das árvores urbanas

As árvores providenciam diversos benefícios ecológicos, nomeadamente a regulação da temperatura, do ciclo hidrológico urbano, da qualidade do ar e do ciclo de carbono. Contudo, é de fundamental importância avaliar e quantificar estes benefícios. Atualmente existem já aplicações desenvolvidas para o efeito, que possibilitam o cálculo dos vários SE.

As alterações climáticas são um problema a nível global, causado pelos gases de efeito estufa (Nações Unidas *et al.*, 2023). O CO<sub>2</sub> resultante das atividades humanas é o principal responsável pelo aquecimento do planeta. Em 2020, a sua concentração

na atmosfera tinha aumentado para cerca de 48% acima do nível pré-industrial (Comissão Europeia *et al.*, 2023), o aumento dos gases de efeito estufa leva ao agravamento das alterações climáticas, as árvores de arruamento ajudam a mitigar os efeitos associados alterações climáticas, com o armazenando e sequestro de carbono (C) que é capturado da atmosfera (Abdolahi *et al.*, 2000). Os armazenamentos de C são compostos armazenados ou sequestrados pela planta, sob formas de C (Carboidratos). Através do processo da fotossíntese e à medida que a árvore cresce vai armazenando C e acumulando-o nos seus tecidos (Soares *et al.*, 2022).

Torna-se importante a quantificação dos SE do armazenamento e sequestro de carbono (C), pois permite mitigar os efeitos das alterações climáticas, através do sequestro e posterior armazenamento do carbono (C), nos seus troncos, ramos e raízes (Burkhard *et al.*, 2012; Soares *et al.*, 2022).

No que respeita ao combate ao efeito de ilhas de calor nas cidades e redução das temperaturas (Killicoat *et al.*, 2002; Burden *et al.*, 2006) verifica-se que as árvores localizadas junto aos edifícios, influenciam os consumos energéticos dos mesmos, através da redução da temperatura do ar, da sombra que proporcionam e no efeito na redução do vento. Até 80% do efeito de diminuição de temperatura é provocado pelas árvores de arruamento, que proporcionam o ensombramento dos edifícios (Shashua-Bar *et al.*, 2009). Para o cálculo destes benefícios energéticos que as árvores proporcionam, têm de ser considerados, para além dos dados relacionados com as características da árvore, os dados relativos aos edifícios (distância e direção das árvores relativamente aos edifícios) e a caracterização do coberto do solo (Nunes *et al.*, 2021; Soares *et al.*, 2022).

É também possível medir o contributo da presença de cada árvore para a hidrologia urbana destacando-se a infiltração da água pluvial no solo, redução do escoamento superficial e a sobrecarga do sistema de esgotos pluviais (McLean *et al.* 2020).

Outro SE quantificável é a remoção de poluentes atmosféricos nocivos para a saúde humana, que causam diferentes efeitos adversos desde problemas respiratórios a cardiovasculares, e até doenças graves (Stieb *et al.* 2009). A principal causa de emissão de poluentes atmosféricos é a combustão de combustíveis fósseis, que produz monóxido de carbono (CO), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e dióxido de nitrogénio (NO<sub>2</sub>), entre outros, emitidos, na sua maioria, por os veículos motorizados. O ozono (O<sub>3</sub>) é formado ao nível de solo através de reações químicas entre os poluentes atmosféricos e a luz solar. As partículas menores que 2,5 microns (PM<sub>2,5</sub>) e as menores que 10 microns (

PM10), são emitidas a partir de estradas não pavimentadas, campos e chaminés ou formam-se na atmosfera a partir de reações químicas complexas (McLean *et al.* 2020).

### **2.2.2. Benefícios sociais**

Apesar de não serem objeto desta investigação importa referir que a presença de árvores e de espaços verdes nas cidades proporciona uma significativa quantidade de benefícios sociais. Incentiva a prática de atividade física, reduz o stress e estimula a coesão social, aumentando as interações sociais (Van Dillen *et al.*, 2012), reduz atos criminosos (Kuo and Sullivan *et al.*, 2001) e aumenta o valor das propriedades (Pandit *et al.*, 2012). As árvores também proporcionam diversos benefícios culturais, de recreio, estéticos, espirituais, religiosos e educacionais (MEA *et al.*, 2005). Cumulativamente, (Mullaney *et al.*, 2015) apontam que as árvores no arruamento funcionam ainda como barreira de proteção para os peões em caso de acidente automóvel.

### **2.3. Custos e problemas associados ao arvoredo urbano**

O arvoredo urbano, além dos benefícios já referidos anteriormente, também tem custos e problemas associados, que são designados por desserviços (Lyytimäki, Jari *et al.*, 2017).

Para terem um bom desenvolvimento, as árvores exigem trabalhos de manutenção tais como, podas, plantações e remoções de ramos secos e os arruamentos carecem de limpeza de folhas, flores, bagas, lixo e detritos associados (sementes e ramos). A prestação destes trabalhos requer uma equipa de manutenção em permanência. Estes custos e problemas são considerados desserviços, isto é, serviços que afetam negativamente as populações na cidade (Pastorinho *et al.*, 2013).

Um dos desserviços relaciona-se com a manutenção do bom estado fitossanitário do arvoredo, nomeadamente o controlo de pragas e de doenças, que implica despesas significativas (Soares *et al.*, 2011).

Outros tipos de desserviços são: a dispersão de partículas alergénicas, tais como pólenes; danos no pavimento, no saneamento ou outras infraestruturas; e eventualmente consequências negativas em carros e outros bens.

No entanto, a melhor forma de minimizar os desserviços provocados pelo arvoredo urbano é através de investigação e planeamento, com o intuito de promover

ferramentas práticas para a mudança de políticas, gestão e manutenção do arvoredo urbano (Livesley *et al.*, 2016). Apesar dos desserviços mencionados, está comprovado que estes custos e problemas são compensados pelos benefícios proporcionados pelas árvores (Nowak *et al.*, 2000; Soares *et al.*, 2011; Pastorinho *et al.*, 2013; Graça *et al.*, 2018).

#### **2.4. Principais métodos de avaliação dos SE de árvores urbanas**

Alguns dos métodos de avaliação dos SE providenciados pelas árvores de arreamento em meio urbano têm como principal foco o valor monetário, o custo do dano ou de perda, tal como a compensação económica. Alguns destes métodos são: Council of Tree and Landscape Appraisers (CTLA), desenvolvido nos Estados Unidos da América; o método Standard Tree Evaluation Method (STEM) desenvolvido na Nova Zelândia; o método Helliwell, da Grã-Bretanha; o método Burnley, utilizado na Austrália; e o Método Norma de Granada desenvolvido em Espanha (Watson *et al.*, 2002; Ktimpen *et al.*, 2012).

O método CTLA, é baseado na medição da área da seção transversal do tronco da árvore a 1,4m, sendo esta área (medida em polegada quadrada) multiplicada por um valor monetário. O valor máximo é reduzido por fatores de qualidade da espécie, condição e localização na paisagem (0.0 a 1.0 para cada fator). O valor por polegada quadrada tem como base o custo das maiores árvores disponíveis (por polegada quadrada de área do tronco) nos viveiros (Watson *et al.*, 2002; Grande-Ortiz *et al.*, 2012).

O método STEM utiliza um sistema de pontos para avaliar 20 atributos das árvores (entre 3 a 27 pontos para cada atributo) e em cada três categorias; condição, utilidade e qualidades (mérito especial), sem indicação da especificidade da espécie (Watson *et al.*, 2002).

O método Helliwell, não dá importância direta à espécie da árvore, mas pontua sete fatores com valores entre 1 e 4, que se multiplicam entre si. O valor obtido é multiplicado por um valor monetário padrão que, a 1 de janeiro de 2010, era de £25,87 (Watson *et al.*, 2002; Krimpen *et al.*, 2012).

O método Burnley, desenvolvido no Victorian College of Agriculture and Horticulture Limited, semelhante ao método CTLA tem como base o tamanho da árvore, somando pontos por cada parâmetro avaliado: expectativa de vida (0.5 a 1.0); forma e

vigor (0.0 a 1.0); e localização (0.4 a 1.0). O total de pontos é então multiplicado pelo preço médio de uma árvore com 5 anos de idade (sem indicação específica de espécie) e, a este valor, são adicionados os custos de plantação e de manutenção do exemplar. Por último, este valor é multiplicado por um fator de conversão de venda comercial para venda ao público (geralmente duplica-se o preço) (Watson *et al.*, 2002; Krimpen *et al.*, 2012).

Um dos métodos mais utilizados em Espanha é o método da Norma de Granada, desenvolvido pela Associação Espanhola de Parques e Jardins Públicos. Neste método utiliza-se a ideia de uma “árvore perfeita”, como referência de comparação com a árvore real em avaliação. Este depende do valor de mercado da espécie nos viveiros, pelo que está sujeito aos critérios de dimensão utilizados a nível comercial. (Watson *et al.*, 2002; Calaza *et al.*, 2020; Krimpen *et al.*, 2012). Ou seja, define o valor patrimonial da mesma com base em parâmetros e aspetos relacionados com o lugar que esta ocupa na cidade. (Krimpen *et al.*, 2012).

O método i-Tree foi desenvolvido pelos serviços florestais americanos (USDA Forest Service). É um software de acesso livre com ferramentas desenvolvidas através de uma parceria público-privada. Estas ferramentas são projetadas para avaliar e valorizar a floresta urbana, avaliar o risco florestal e desenvolver planos de gestão da floresta urbana de forma sustentável, para melhorar a qualidade ambiental e da saúde humana (Nowak *et al.*, 2021). Esta plataforma, que foi desenvolvida na sequência de uma ferramenta anterior, o programa Stratum, é utilizada em Portugal por diversos autores, (Soares *et al.*, 2011; Graça *et al.*, 2018; Nunes *et al.*, 2021 e Soares *et al.*, 2022) para estimar os serviços dos ecossistemas associados à floresta urbana. O i-Tree é programado para utilizar os dados das próprias árvores em avaliação, sendo estes recolhidos em campo, conjuntamente com dados meteorológicos e dados relativos à poluição atmosférica, ambos obtidos a nível local. O programa é alimentado com dados reais e procede à análise programada da informação, devolvendo resultados relativos à estrutura da floresta urbana, aos benefícios ambientais e o respetivo valor monetário (Soares *et al.*, 2022).

Os métodos anteriormente descritos, com exceção do método i-Tree, têm apenas em conta valores monetários, o que os torna inadequados para a avaliação dos serviços dos ecossistemas proporcionados pelas árvores urbanas (ou de arruamento). O método i-Tree é inovador porque integra também as tecnologias de sistema de informação geográfica (SIG), permitindo obter um grande leque de informações sobre os benefícios do arvoredo urbano.

Pelas razões apresentadas, optou-se por escolher o método do i-Tree, por se revelar mais completo e acessível, permitindo obter os serviços dos ecossistemas associados ao arvoredo urbano. Para a quantificação dos serviços dos ecossistemas do arvoredo urbano da cidade de Loulé, foi utilizada ferramenta i-Tree, à semelhança do efetuado em Cascais por (Nunes *et al.*, 2021), em Lisboa (Soares *et al.*, 2011) e no Porto (Graça *et al.*, 2018).

#### **2.4.1. Método i-Tree**

O i-Tree é um pacote de ferramentas de software do USDA Forest Service que fornece meios para a análise e avaliação da floresta (tanto em ambientes urbanos como em contexto rural) e dos seus benefícios ecológicos e económicos (Nowak *et al.*, 2021).

O conjunto de ferramentas i-Tree foi desenvolvido para apoiar instituições públicas e privadas na gestão da floresta urbana. Os resultados providenciados por esta aplicação são apresentados para cada árvore, para cada espécie, para cada estrato dos previamente definidos e para toda a população do estudo, sendo possível visualizar os resultados de forma descritiva e de forma gráfica, através de relatórios elaborados pelo software (McPherson *et al.*, 2011; USDA *et al.*, 2020).

Esta ferramenta permite a quantificação dos serviços dos ecossistemas das árvores urbanas e está concebido para estimar os efeitos da estrutura da floresta urbana na redução da poluição, nos impactos na saúde da população, no sequestro de carbono (C), na eficiência energética, na redução no escoamento superficial das águas pluviais, e no valor económico de cada um destes serviços (USDA *et al.*, 2020).

#### **2.5. Casos de estudo do arvoredo urbano**

O arvoredo urbano é um tema que têm vindo a ser aprofundado por diversos autores, com alguns trabalhos realizados em Portugal, nomeadamente nas cidades do Porto, Lisboa e Cascais. Sendo esta presente investigação a primeira do seu género na região do Algarve. Na pesquisa bibliográfica encontraram-se trabalhos neste tema, com utilização do i-Tree (Soares *et al.*, 2011; Graça *et al.*, 2018; Soares *et al.*, 2022). De seguida, são apresentados alguns trabalhos relacionados com os serviços dos ecossistemas das árvores urbanas.

### **2.5.1. Benefícios e custos das árvores de arruamento em Lisboa**

O estudo sobre o arvoredo urbano na cidade de Lisboa realizado por (Soares *et al.*, 2011) teve como objetivo avaliar os serviços providenciados pelas árvores na cidade, para o qual foi utilizado o programa STRATUM (programa que antecede o i-Tree eco), que permitiu quantificar os serviços de ecossistema de uma amostra do arvoredo existente e extrapolar para o conjunto da floresta urbana.

Nesta avaliação dos serviços dos ecossistemas foram delimitados quatro estratos (grupos de freguesias), que correspondem a zonas de diferentes características, desde a densidade do arvoredo à época de desenvolvimento da estrutura da cidade (áreas de desenvolvimento antigo ou mais moderno). Com recurso ao software STRATUM foi selecionada uma amostra de 2300 árvores na cidade de Lisboa do universo de 33 232 árvores do levantamento efetuado pelo departamento municipal dos jardins de Lisboa em 2003, sobre a qual incidiu a recolha de dados em campo. Para cada árvore os dados incluíam, o nome da espécie, o diâmetro à altura do peito (DAP), o estado da árvore, a sua localização e o estado e saúde da copa, entre outros.

Após os resultados do estudo do arvoredo urbano comparou-se com cidades do EUA. Identificaram as espécies de árvores mais comuns e as preocupações associadas devido à possibilidade de pragas e doenças e sua distribuição pela cidade. Foram apresentados os resultados estimados para a floresta urbana de Lisboa, tendo-se avaliado que esta contribuiu para o sequestro de 1776 toneladas por ano de carbono (C), para o armazenamento de 21030 toneladas de C, e para a remoção de 25,6 toneladas anuais de poluentes nocivos para a saúde humana (Soares *et al.*, 2011).

### **LX-Tree serviços do ecossistema urbano de Lisboa**

No seguimento do estudo dos benefícios e custos das árvores de arruamento, foi estabelecido um protocolo entre a Camara Municipal de Lisboa (CML) e o Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, para a caracterização do arvoredo, com o objetivo de completar o inventário do arvoredo realizado pela CML, bem como, quantificar os serviços de ecossistema proporcionados pelas árvores da cidade de Lisboa.

Para a análise do arvoredo com recurso ao software i-Tree, foi selecionada uma amostra de 6928 árvores distribuídas pelas 24 freguesias de Lisboa. As espécies mais

representativas (dominantes) na amostra foram *Celtis australis*, *Jacaranda mimosifolia*, *Platanus x hispanica* e a *Melia azedarach*.

O valor de substituição das 6928 árvores de arruamento amostradas em Lisboa, tendo em conta todos os benefícios, seria de cerca de 9,8 milhões de euros.

Os autores estimaram que as árvores de arruamento amostradas contribuem para 1600 toneladas de carbono armazenado, 62,39 ton/ano de sequestro de carbono, 166,4 ton/ano de produção de oxigénio e contribui para 8663,0 m<sup>3</sup> de escoamento pluvial evitado (Soares *et al.*, 2022).

### **2.5.2. Desempenho das áreas verdes urbanas na proficiência dos serviços de ecossistema: um caso de estudo no Porto, Portugal.**

O estudo realizado por Graça *et al.*, (2018) para a cidade do Porto debruça-se sobre o impacto dos benefícios gerados pelas áreas verdes na qualidade de vida nas cidades e avaliação dos serviços dos ecossistemas proporcionados por as árvores em espaços públicos. O estudo foi conduzido no âmbito de uma tese de doutoramento, tendo sido apresentado em três artigos que expõem, numa abordagem integrada, a avaliação dos SE à escala local, com capacidade para informar e fundamentar o projeto, planeamento e gestão dos espaços verdes urbanos.

Para chegarem aos resultados dos serviços dos ecossistemas da floresta urbana da cidade do Porto, foi realizado trabalho de campo e utilizado o i-Tree para obtenção dos resultados.

Foi estimado que a floresta urbana do Porto contribuía para a remoção de 64 toneladas por ano de poluentes, apresentava 33100 toneladas de armazenamento de carbono, 1500 toneladas de sequestro anual de carbono e 38800m<sup>3</sup> de escoamento de águas pluviais evitado (Graça *et al.*, 2018).

### **2.5.3. Investigar o efeito das árvores na qualidade urbana em Dublin, combinando a monitorização do ar utilizado o modelo i-Tree Eco.**

O estudo desenvolvido por Riondato *et al.*, (2020) na cidade de Dublin, na Irlanda, teve como objetivo avaliar como as árvores podem remover da atmosfera as partículas finas menores que 2.5 micron (PM2.5), comumente libertadas por veículos

motorizados a gásóleo ou pelo desgaste dos travões e dos pneus. Foi utilizado o programa i-Tree para calcular a capacidade das árvores na remoção destes poluentes atmosféricos. Foi também comparada a concentração do poluente numa rua com e sem árvores. Sendo que a partir da ferramenta i-Tree, foi estimado que uma rua com árvores de arruamento contribuía para um aumento da qualidade do ar entre 33.36% e 51.34% (Riondato *et al.*, 2020).

Os casos de estudos apresentados utilizam a ferramenta i-tree para analisar os benefícios das árvores na cidade, com foco no caso de Lisboa (Soares *et al.*, 2022) onde é utilizada neste estudo a mesma metodologia para avaliar os SE do arvoredo urbano da cidade de Loulé.

### 3. Métodos

#### 3.1. Enquadramento da área em estudo

O concelho de Loulé situa-se na região do Algarve, a sul de Portugal (Figura 1). A região, rodeada a sul e oeste pelo oceano Atlântico, a norte pelo Alentejo e a Este por Espanha, apresenta uma área total 4 960 km<sup>2</sup> (CAOP, 2022) e é composta por 16 concelhos e com uma população de 467 343 habitantes (INE, 2021). O concelho de Loulé é o maior da região algarvia, tanto em população, com cerca de 72 332 habitantes (INE, 2021), como em área, com 763,66 km<sup>2</sup> (CAOP, 2022).

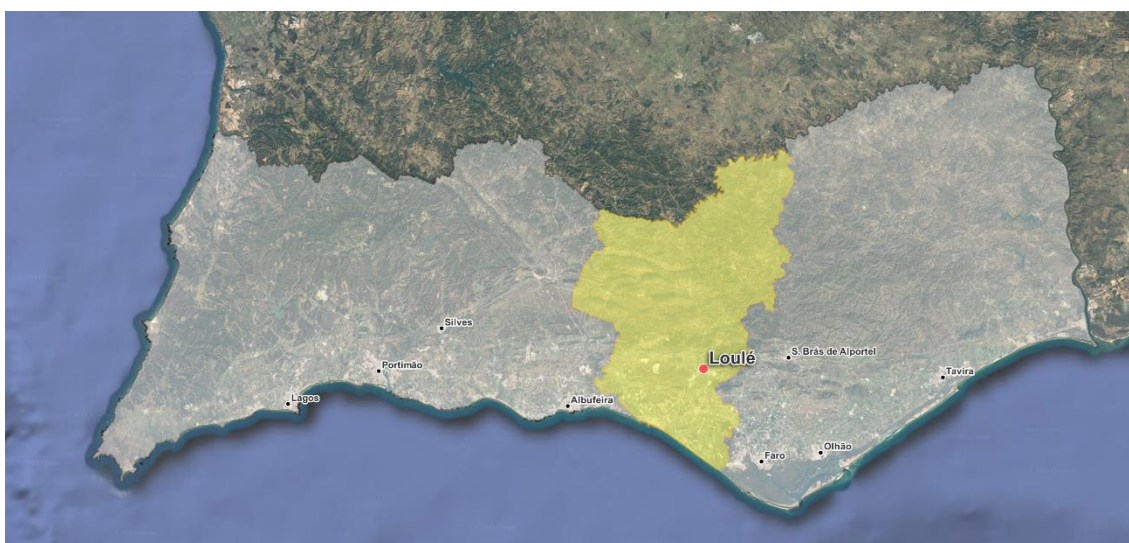


Figura 1 - Região do Algarve a branco e o concelho de Loulé a amarelo (CAOP 2022)

A população residente em Portugal com destaque na região do Algarve tem crescido nas últimas décadas, principalmente com habitantes oriundos, de outros países europeus (INE,2021).

Loulé é uma cidade localizada no barrocal algarvio na região do algarve, com uma história que remonta à antiguidade romana e árabe (Município de Loulé). Com um clima ameno no inverno, a quente e seco no verão. A área urbana da Cidade de Loulé, é dividida por duas freguesias (São Sebastião e São Clemente) (Figura 2) e ocupa uma área total de 108,9 km<sup>2</sup>, com uma população residente de 24731 (INE, 2021).

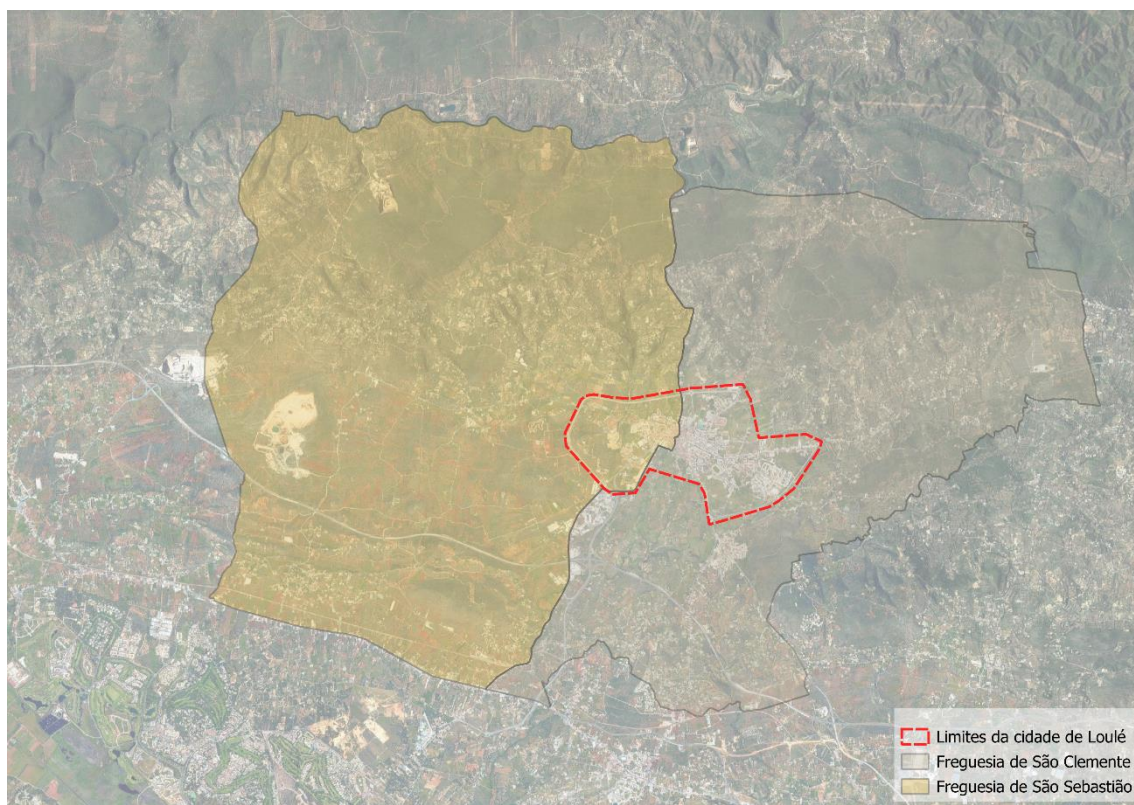


Figura 2 - Freguesias da Cidade de Loulé. Fonte: CAOP 2022

O clima, é predominantemente mediterrânico, com temperaturas amenas durante o ano, com os valores máximos das médias máximas a ocorrerem nos meses de julho e agosto com 32°C, enquanto das médias das mínimas com um valor de 5,9°C em janeiro. A precipitação distribui-se entre os meses de setembro a maio, com o período de seca correspondendo aos meses de junho a agosto, sendo os meses de maio e setembro de transição entre a época de chuvas e a época seca. O nº de horas de sol varia entre as 6 e 12 horas diárias de sol efetivo, confirmando-se a presença de um clima mediterrânico com bastante insolação, cerca de 3300 horas de sol anualmente. O vento tem predominância de noroeste do algarve (Oliveira *et al.*, 2018).

As árvores de arruamento pertencentes aos espaços verdes de Loulé são um importante eixo de ligação entre diferentes partes da cidade, trazendo o mundo rural e natural para dentro da cidade (Figura 3). As árvores fazem parte do *continuum naturale*, entendendo este como “o sistema contínuo de ocorrências naturais que constituem o suporte da vida silvestre e da manutenção do potencial genético que contribui para o equilíbrio e estabilidade do território” (Cabral *et al.*, 1980). Apesar da elevada importância do arvoredo nas cidades, Loulé possui poucas árvores, devido à existência de ruas

estreitas em grande quantidade, o que limita o espaço no que respeita à possibilidade de instalação de arvoredo urbano.

É importante a quantificação dos benefícios do arvoredo para uma melhor gestão do papel da árvore dentro da cidade, de forma a promover a sua plantação e a sua manutenção, evitando erros no planeamento da cidade.

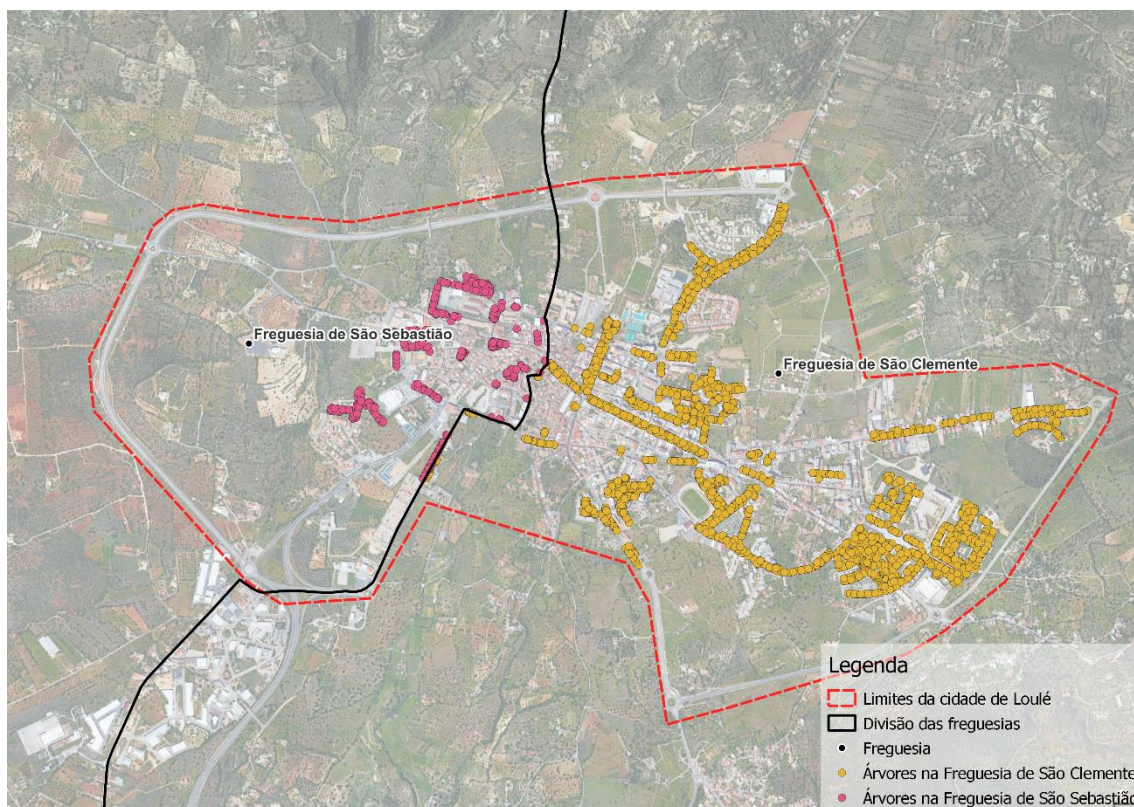


Figura 3 -Árvores de arruamento de Loulé. (Fonte: CML)

### 3.2. Dados e resultados que se obtêm do i-Tree

Para a utilização do pacote de programas i-Tree, foi necessário o desenvolvimento de parâmetros para recolha e submissão dos dados no software e para, posteriormente, se proceder à quantificação dos SE. O programa i-Tree necessita de um conjunto de dados (ANEXO II) para poder estimar os SE das árvores, sendo o nome científico das árvores e o DAP obrigatórios (Soares *et al.*, 2022) (Figura 4).

Além dos dados necessários obtidos das árvores amostradas, o software necessita de um conjunto de dados meteorológicos e de poluição local da área de estudo, população residente e densidade populacional por km<sup>2</sup>. Para esta investigação foram utilizados os dados meteorológicos e de poluição do ano 2015 da estação de Faro, uma

vez que são os que estão disponíveis na plataforma i-Tree, na localização mais próxima da área em estudo.

Para se obterem os valores monetários dos benefícios proporcionados pelo arvoredo urbano, são solicitados diversos dados tais como, o preço da energia elétrica por Kwh (Quilowatt por hora), o preço do aquecimento, os valores de carbono por tonelada, o preço por m<sup>3</sup> de escoamento superficial evitado e a taxa de câmbio atual do dólar para euro. Para estes valores, foram considerados os valores constantes no estudo dos Serviços dos Ecossistemas das Árvores de Arruamento da Cidade de Lisboa (Soares *et al.*, 2021), que foram os seguintes: eletricidade 0,22 €/kWh; aquecimento 2,26 €/hora; carbono emitido 117 €/toneladas métricas; escoamento evitado 9,82 €/m<sup>3</sup>; taxa de cambio de dólar para euro (0,9364€).

Após a introdução dos dados no software este processa-os e devolve os seguintes resultados, por espécime e por *taxa*, tanto em valores unitários como monetários:

- Armazenamento de carbono – Quantidade de C armazenado (ton e €)
- Sequestro bruto de carbono – O C sequestrado anualmente (ton/ano e €/ano)
- Produção de oxigénio – A produção anual em toneladas de O<sub>2</sub> (ton/ano)
- Remoção de poluentes – Lista detalhada dos poluentes removidos (kg /ano e €/ano, de monóxido de carbono (CO); ozono (O<sub>3</sub>), partículas inferiores a 10 micron (PM10), partículas inferiores a 2,5 micron (PM2,5), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>);
- Escoamento superficial evitado – Quantidade de água da chuva que é evitada no escoamento superficial com a infiltração no solo (m<sup>3</sup>/ano e €/ano);
- Efeitos energéticos – A poupança energética que as árvores de arruamento proporcionam nas habitações próximas;
- Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) – Compostos produzidos pelas árvores, tal como o monoterpeno e o isopreno (g/ano e €/ano).

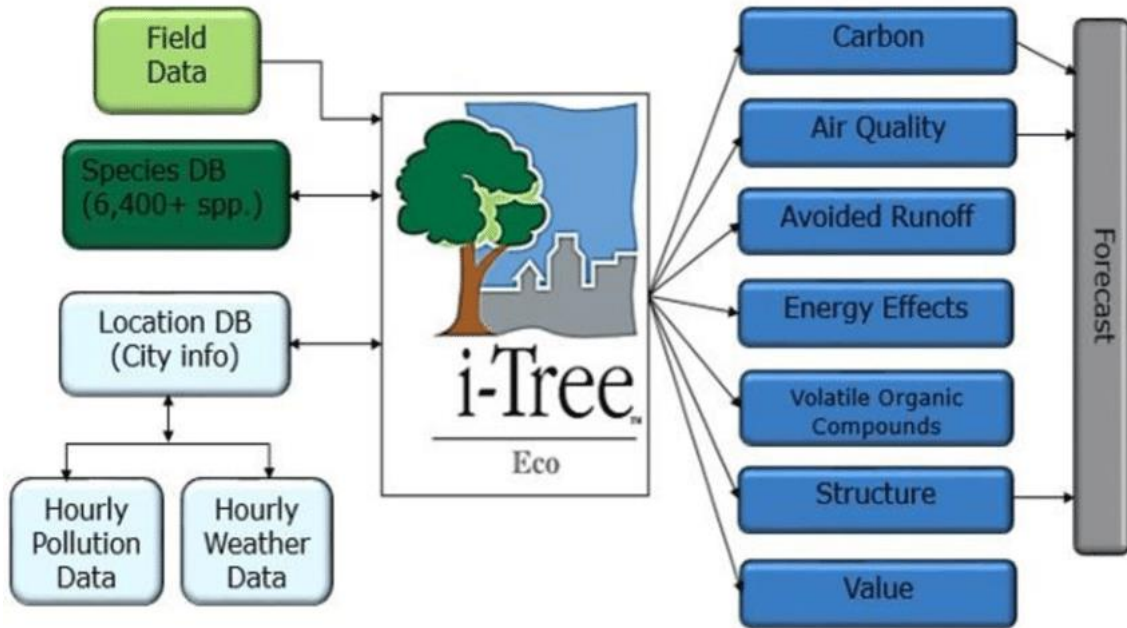


Figura 4 - Esquema do funcionamento do i-Tree Eco, dados introduzidos (à esquerda), resultados obtidos (à direita). (Fonte: i-Tree Eco v6.0 User Manual)

### 3.3. Definição de área de arruamento

O conceito de área de arruamento é definido a partir da metodologia utilizada no estudo LX-Tree (Soares *et al.*, 2022).

A rua arborizada é um conceito que apareceu apenas no século XIX, associado ao termo "boulevards" e às ruas que se adaptaram ao desenvolvimento do veículo automóvel (Cabral e Ribeiro Telles *et al.*, 2022). De acordo com estes autores, no boulevard, rua arborizada, as árvores eram plantadas em passeios e destinavam-se a ensombrar, alegrar a monotonia das cidades e trazer um pouco do campo, algo que não se via do interior da cidade.

Desde o aparecimento destes conceitos, o termo "boulevard" ou rua arborizada ficou associado à circulação pedonal, à "promenade" e ao espaço público. Cullen *et al.*, (1983) identifica também que a árvore de arruamento está sempre associada ao edificado, onde a sua conjugação com o mesmo oscila entre as funções de sombra, filtro visual, traço e geometria.

Assim, tendo por base estes conceitos, também utilizados por Soares *et al.*, (2021) para Lisboa, serão consideradas árvores de arruamento as árvores de carácter

urbano, associadas à circulação automóvel, na berma das estradas (até 15m do eixo da via), em espaço público associado ao uso pedonal e também ao edificado.

### 3.4. Seleção da amostra de árvores na cidade de Loulé

Para caracterização do arvoredo urbano na cidade de Loulé e integração com sistema de informação geográfica (SIG), foi definida uma amostra, a partir de uma base Google Earth da cidade de Loulé.

De forma a obter os dados sobre a quantidade de árvores de arruamento existentes na cidade de Loulé, solicitou-se a informação ao Município de Loulé que prontamente forneceu os dados. Loulé tem um total aproximado de 6000 árvores em espaço público, sendo que destas, apenas 2500 correspondem a árvores de arruamento. As restantes integram o parque municipal e outros espaços que não cumprem o critério de árvore de arruamento referido anteriormente.

Com a base definida, foram selecionadas como amostra 1003 árvores para análise. Todas estas árvores foram georreferenciadas e inseridas em plataforma SIG (com utilização do programa QGIS). A distribuição da amostra pelas duas freguesias é proporcionalmente idêntica à distribuição do universo de árvores pelas mesmas freguesias como é visível na tabela 2. Tendo em consideração que a distribuição das árvores pelas freguesias é de 16% em São Sebastião e 84% em São Clemente, a seleção da amostra teve em consideração essa mesma distribuição.

*Tabela 2 - Relação entre a distribuição de árvores de arruamento existentes e as amostradas, pelas freguesias de São Sebastião e São Clemente.*

<b>Freguesia</b>	<b>N.º de árvores de arruamento em Loulé</b>	<b>% do total</b>	<b>N.º de indivíduos amostrados</b>	<b>Percentagem do nº total de indivíduos amostrados</b>
<b>São Sebastião</b>	401	16%	163	16%
<b>São Clemente</b>	2099	84%	840	84%
<b>Total:</b>	2500	100%	1003	100%

Após a seleção da amostra por freguesia, foi efetuado o trabalho de recolha de dados em campo para as árvores selecionadas, com uma média prevista de 20 a 30 árvores a serem caracterizadas diariamente.

Para a seleção da amostra, foram georreferenciadas as árvores de arruamento de Loulé com recurso ao Sistema de Informação Geográfica (SIG) nomeadamente através do software QGIS, estes dados foram posteriormente exportados em formato Kmz para serem inseridos no programa AlpineQuest®, permitindo a consulta em campo, dos dados de localização das árvores (Figura 5).

Em campo, a medição e recolha dos dados das árvores amostradas foi efetuada por uma equipa de 2 pessoas, com recurso a equipamento e material. Entre os dias 12 de setembro e 30 de outubro de 2022, numa média de 20 árvores por dia. O procedimento seguiu as orientações dos metadados, apresentados no ANEXO II, desenvolvidos no âmbito do projeto Lx-Tree (Soares *et al.*, 2021).

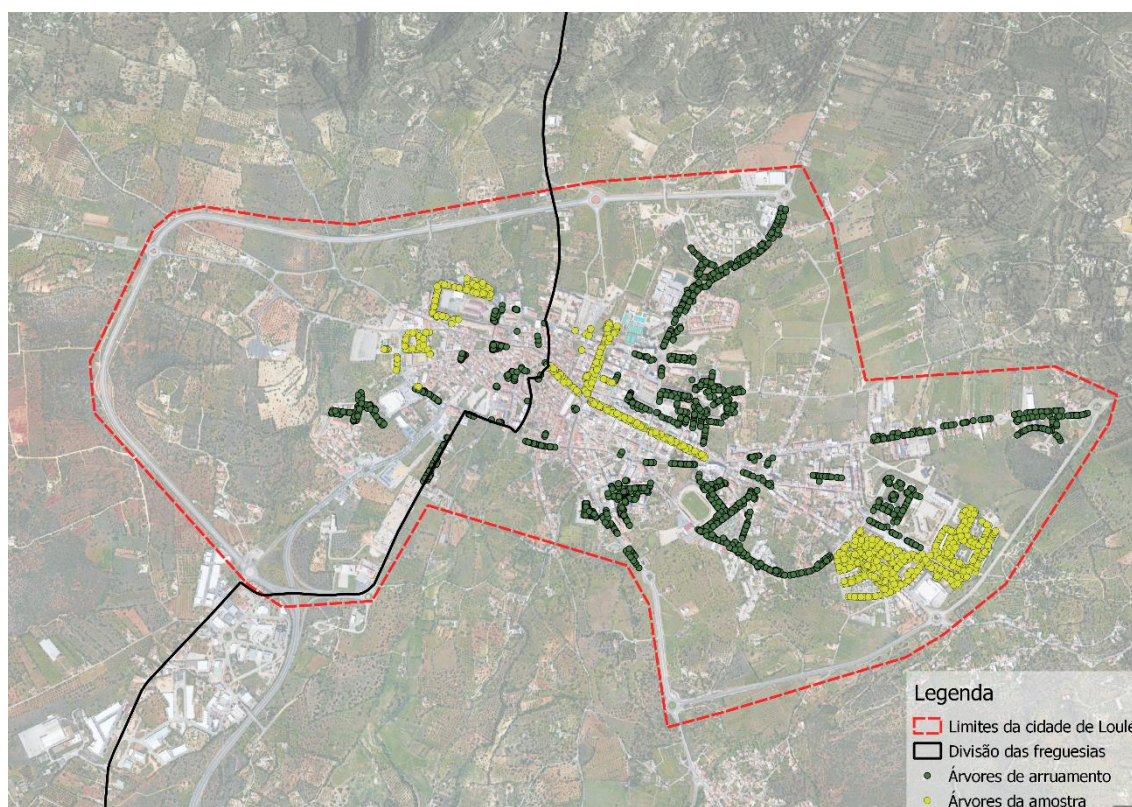


Figura 5 - Árvores de arruamento de Loulé a verde-escuro e a amostra a amarelo.

O Formulário integrou os dados para a análise completa da amostra do arvoredo selecionado. Estes consistem:

- Identificação do exemplar com o ID;
- Identificação da espécie com o nome científico, um requisito obrigatório do i-Tree, pois permite encontrar a informação na base de dados do software, para posteriormente obter os resultados;
- Os usos do solo, identificados pelas categorias definidas pelo i-Tree, sendo adaptadas à situação do local;
- Estado da árvore, que identifica se a árvore foi plantada no local, ou se é espontânea;
- Diâmetro, que corresponde à medida da copa da árvore em duas direções, Norte-Sul e Este-Oeste;
- A medição do perímetro à altura do peito (PAP), para posteriormente ser convertido para diâmetro à altura do peito (DAP);
- Alturas: altura total, altura topo vivo e altura da base da copa;
- Percentagem (%) da copa em falta, que corresponde ao volume da copa inexistente, por comparação com a copa típica da espécie em questão;
- Percentagem de mortalidade na copa, que corresponde à percentagem de mortalidade na copa;
- Percentagem (%) de impermeabilização sob a copa;
- Percentagem (%) de arbustos sob a copa, correspondendo ao coberto arbustivo sob a árvore;
- Exposição solar, correspondente ao número de lados da árvore que recebem luz solar direta;
- Proximidade a edifícios, obtida pela medição da distância para os cálculos dos efeitos das árvores na eficiência energética;
- Registo fotográfico de cada exemplar.

#### **3.4.1. Material utilizado**

Para a medição do perímetro a altura do peito (PAP), e dos diâmetros de copa foi utilizado uma fita métrica de 20 metros (Figura 6).



Figura 6 - Fita Métrica de 20m. Fonte: <https://www.stanleyworks.pt/>

Para a medição das alturas das árvores e das distâncias dos edifícios, foi utilizado um distanciômetro a laser (Figura 7).

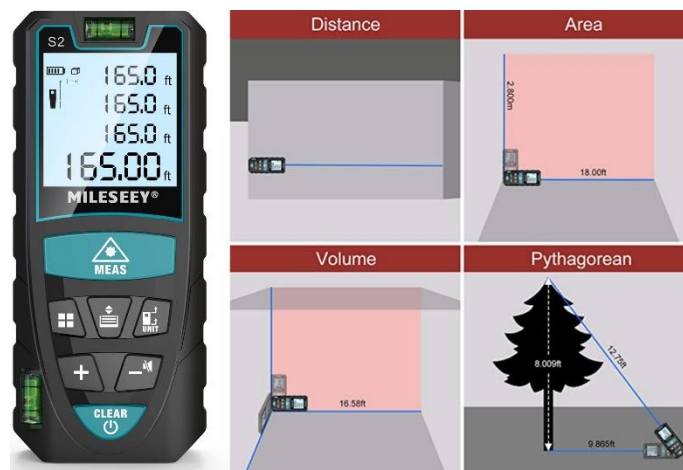


Figura 7 -Distanciômetro a laser e as suas funcionalidades. Fonte: <https://www.mileseeytools.com>.

O registo dos dados da amostra no formulário foi efetuado num dispositivo móvel (Figura 8) com ligação a internet.



Figura 8 - Tablet usado no registo dos dados. Fonte: <https://www.samsung.com/pt/tablets>

Foi utilizado uma bússola para identificar a orientação da árvore em relação aos edifícios (Figura 9).



Figura 9 . Bússola

### 3.5. Diversidade arbórea

Para avaliar a diversidade de espécies arbóreas na cidade de Loulé, foi utilizado o índice de Shannon.

O **índice de Shannon (H')** é o índice de medição da diversidade de espécies e atualmente um dos mais utilizados. É aplicado em ecologia para medir a equitabilidade da distribuição das espécies, considerando também a sua riqueza específica (Rego *et al.*, 2019). Este índice combina uma medida de riqueza taxonómica com a equitabilidade, conforme a expressão seguinte:

$$SHDI = - \sum_{i=1}^S (p_i \cdot \ln p_i)$$

(Shannon, 1948)

A diversidade específica considera os valores de riqueza ( $S$ ) e de abundância das espécies e foi expressa através do índice de Shannon-Winner ( $SHDI$ ). A riqueza em taxa ( $S$ ) corresponde ao número de taxa da amostra e  $p_i$  é a frequência relativa da espécie  $i$  na amostra

Na interpretação do índice de Shannon assume-se que a diversidade mínima se obtém no caso de ocorrência de apenas uma espécie. Pelo contrário, a diversidade máxima obtém-se com um elevado número de espécies distribuídas equitativamente (Rego *et al.*, 2019).

O índice de Shannon assume que os indivíduos da amostra foram selecionados aleatoriamente e que todas as espécies estão representadas na amostra. Adquire valores entre zero quando há apenas uma espécie (Magurran *et al.*, 1988; Moreno *et al.*, 2001). Relativamente aos resultados, os valores aumentam com o aumento da riqueza, para determinados padrões de uniformidade e aumentam também com o aumento da equitabilidade, para uma dada riqueza. Contudo, nem sempre hierarquiza as comunidades do mesmo modo (Colwell *et al.*, 2009). Para um mesmo número de espécies ( $S$ ), o valor do índice é mínimo quando uma espécie é dominante sobre as restantes e é máximo quando as espécies são todas igualmente abundantes (Mafhoud *et al.*, 2009). A diversidade máxima para um número de espécies ( $S$ ) é igual a  $\ln(S)$ . O índice de diversidade de Shannon é mais sensível a variações na equitabilidade do que o índice de riqueza de espécies ( $S$ ). No entanto é pouco sensível à existência de espécies raras, considerando todas igualmente importantes (Soares *et al.*, 2022).

### **3.6. Relação altura DAP das espécies de arvoredo urbano em Loulé**

Para as espécies mais representativas da amostra foi analisada a relação do DAP (Diâmetro altura do peito) com a altura da árvore, utilizando uma reta de regressão simples. Assim, tal como é apresentado posteriormente (Anexo I), obteve-se a previsão de crescimento, de porte e dimensão potencial, os quais podem também ser relacionado com os SE de cada espécie em cada fase do seu desenvolvimento.

## 4. Resultados

Os dados recolhidos foram analisados, validados e posteriormente, inseridos na aplicação i-Tree Eco, para obtenção dos SE do arvoredo amostrado.

Após os resultados obtidos, efetuou-se uma análise e caracterização da amostra, o que permitiu a comparação dos dados entre as freguesias e espécies de árvore, e quantificação dos SE proporcionados pela mesma. De seguida os resultados foram extrapolados para o total das árvores de arruamento da cidade de Loulé, para uma obtenção do valor global de SE do arvoredo gerido pelo Município.

### 4.1. Caracterização e análise da amostra

#### Representatividade da amostra

As árvores de arruamento em Loulé são compostas por uma diversidade de espécies, autóctones como o *Celtis australis* (Lodão) e *Olea europaea* e exóticas, como o *Styphnolobium japonicum* (Acácia-do-Japão) e *Jacaranda mimosifolia*.

Foram amostradas 1003 árvores de arruamento, sendo as 5 espécies mais abundantes as que se apresentam na tabela 3, onde se pode observar que 67% da amostra é composta pelo *Celtis australis*; *Melia azedarach*; *Jacaranda mimosifolia*; *Styphnolobium japonicum* e *Platanus x hybrida*.

São apresentadas as espécies dominantes em cada freguesia numa tabela comparativa (Tabela 3).

Tabela 3 - Espécie dominantes da amostra e de cada freguesia

Espécie	% da amostra	
	São Clemente	São Sebastião
<i>Celtis australis</i>	25%	20%
<i>Melia azedarach</i>	14%	24%
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	12%	
<i>Styphnolobium japonicum</i>	12%	
<i>Platanus x hybrida</i>	8%	
<i>Tilia cordata</i>		16%
<i>Ginkgo biloba</i>		10%
<i>Lagerstroemia indica</i>		7%

O arvoredo de arruamento da cidade de Loulé é composto por diversas espécies, sendo que estas estão apresentadas na figura 10, em ordem de abundância. Com o *Celtis australis* a representar a maior quantidade de exemplares e o *Washingtonia filifera* com a menor quantidade de exemplares (Figura 10).

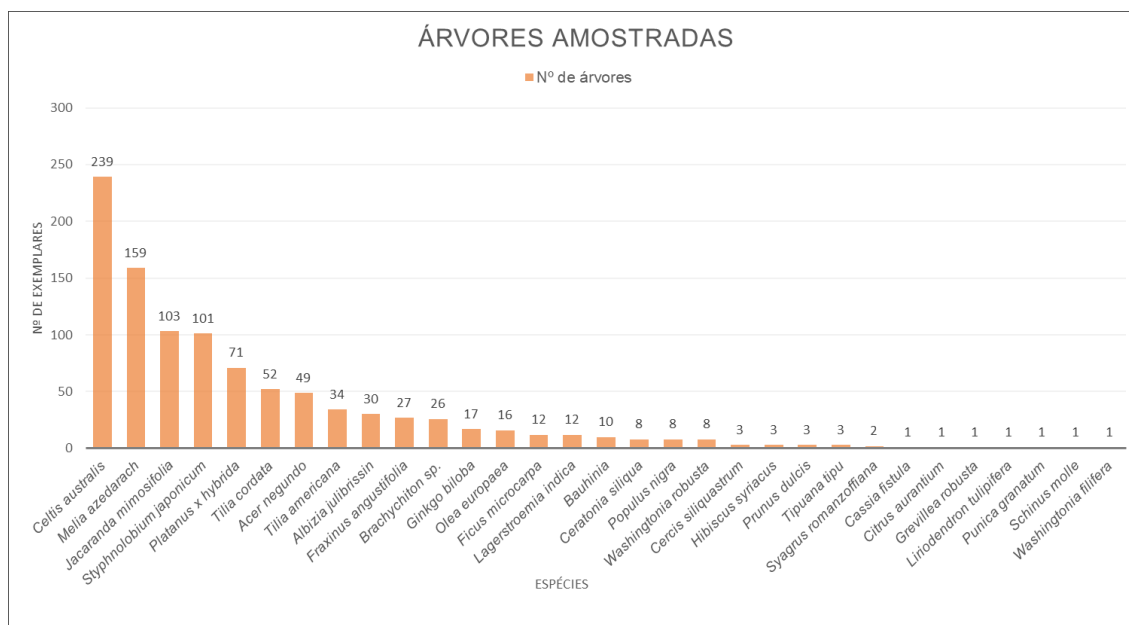


Figura 10 - Abundância de cada espécie no total da amostra

A caracterização da amostra por espécie de árvore é um processo de análise da estrutura da floresta urbana. A caracterização apresenta dados comparativos, com o nº de árvores, a área foliar total em m<sup>2</sup> o diâmetro à altura do peito (DAP) e a altura média de cada espécie (Tabela 4).

Tabela 4 - Caracterização da amostra por espécie amostrada

Espécie	Nº de árvores	Área foliar (m <sup>2</sup> /ha)	DAP Médio (cm)	Altura média (m)
<i>Acer negundo</i>	49	3164,7	19,83	6,97
<i>Albizia julibrissin</i>	30	2508,4	21,43	7,15
<i>Bauhinia sp.</i>	10	35,7	7,20	3,71
<i>Brachychiton sp.</i>	26	1198,9	27,94	6,59
<i>Cassia fistula</i>	1	12,2	11,15	5,86
<i>Celtis australis</i>	239	19025,1	24,77	8,16
<i>Cercis siliquastrum</i>	3	185,8	34,71	7,39
<i>Ceratonia siliqua</i>	8	735,4	12,90	4,43

Espécie	Nº de árvores	Área foliar (m <sup>2</sup> /ha)	DAP Médio (cm)	Altura média (m)
<i>Citrus aurantium</i>	1	11,2	11,15	3,84
<i>Ficus microcarpa</i>	12	2078,9	29,51	8,57
<i>Fraxinus angustifolia</i>	27	1996,3	17,42	6,62
<i>Ginkgo biloba</i>	17	74,9	5,30	5,24
<i>Grevillea robusta</i>	1	558	57,32	15,76
<i>Hibiscus syriacus</i>	3	3,2	3,72	1,64
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	103	11102,7	25,31	8,47
<i>Lagerstroemia indica</i>	12	19,3	5,36	2,53
<i>Liriodendron tulipifera</i>	1	4,3	5,73	4,88
<i>Melia azedarach</i>	159	17363,8	32,29	9,47
<i>Olea europaea</i>	16	1307,4	18,29	5,15
<i>Platanus x hybrida</i>	71	13371,4	22,34	11,70
<i>Populus nigra</i>	8	883,8	20,46	11,57
<i>Prunus dulcis</i>	3	214,6	23,78	6,86
<i>Punica granatum</i>	1	0,4	5,41	2,09
<i>Schinus molle</i>	1	349,5	92,36	8,79
<i>Styphnolobium japonicum</i>	101	5052,9	21,56	6,28
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	2	41	23,73	6,34
<i>Tilia americana</i>	34	2146,6	17,29	7,30
<i>Tilia cordata</i>	52	1246,7	12,03	5,50
<i>Tipuana tipu</i>	3	97	13,91	5,21
<i>Washingtonia filifera</i>	1	7,5	39,17	7,86
<i>Washingtonia robusta</i>	8	190,1	53,22	8,48
Total:	1003	84987,6	23,44	7,87

A representatividade das espécies nas freguesias é um importante indicador da diversidade e estrutura da floresta urbana.

Na freguesia São Clemente estão presentes as sete espécies dominantes da amostra: *Celtis australis*, *Melia azedarach*, *Jacaranda mimosifolia*, *Styphnolobium japonicum*, *Platanus x hibryda*, *Acer negundo* e a *Tilia americana*. Estas espécies representam 82% das espécies amostradas, com os restantes 18% a representar as dezasseis espécies restantes do total da freguesia (Figura 11).

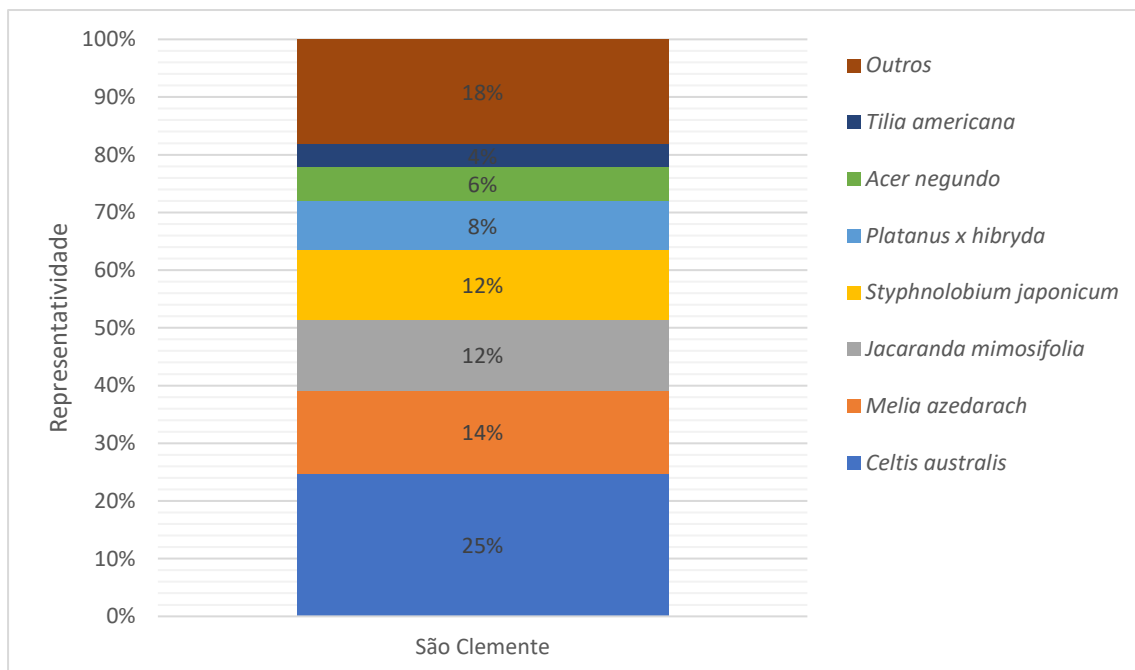


Figura 11 - Representatividade das espécies na freguesia de São Clemente

Na freguesia de São Sebastião, as sete espécies dominantes são: *Melia azedarach*, *Celtis australis*, *Tilia cordata*, *Ginkgo biloba*, *Lagerstroemia indica*, *Bauhinia sp.* e *Brachychiton sp.* Na figura 12 é perceptível que estas espécies representam 82% do total, sendo os restantes 18% compostos pelas dezasseis espécies restantes.

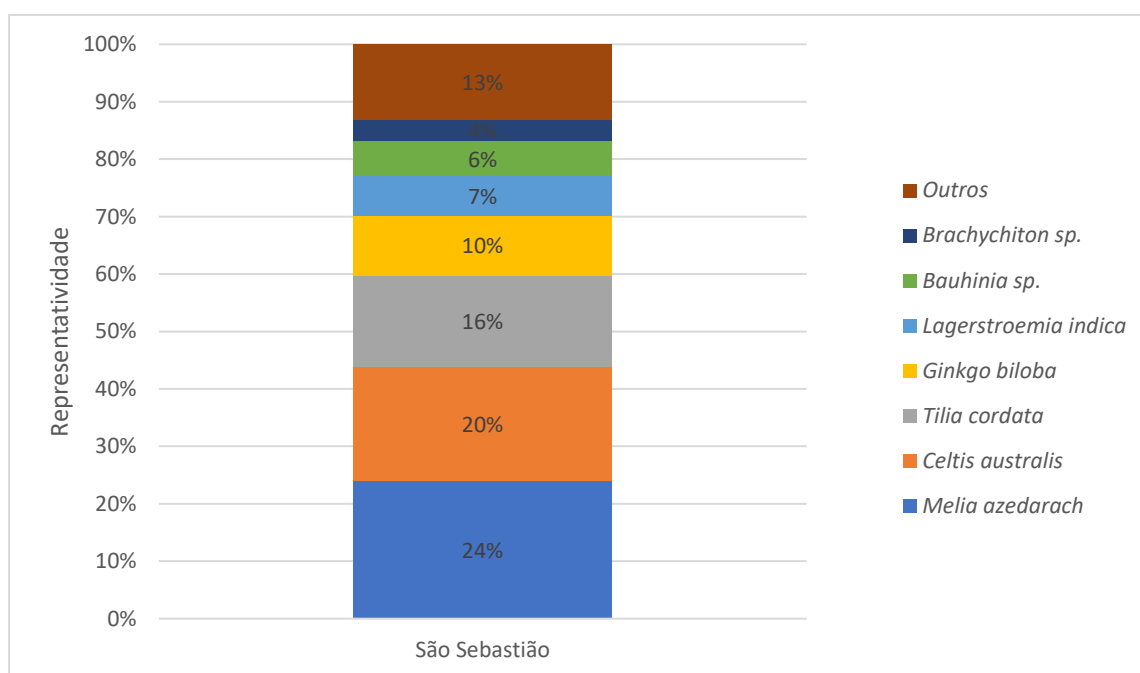


Figura 12 - Representatividade das espécies na freguesia de São Sebastião

#### 4.1.1. Diversidade de árvores de arruamento - Índice de Shannon

Procedeu-se à análise da diversidade de espécies arbóreas na cidade de Loulé através do índice Shannon (Tabela 5). A freguesia de São Clemente apesar de ter maior quantidade de espécies, tem maior dominância em apenas três espécies de árvores, *Celtis australis*, *Melia azedarach* e *Jacaranda mimosifolia*, apresentando assim menor diversidade. São Sebastião apresenta maior diversidade, aproximando-se mais da diversidade potencial máxima ( $\ln S$ ).

Tabela 5 - Comparação entre freguesias (S= número de espécies; SHDI max= diversidade máxima por potencial em cada freguesia; SHDI = índice de Shannon, para cada freguesia).

Freguesias	S	SHDI max	SHDI
São Clemente	23	3.14	2.20
São Sebastião	16	2.77	2.36

#### 4.2. Quantificação dos serviços dos ecossistemas das árvores de Loulé

Após a caracterização da amostra, são apresentados os resultados relativos a armazenamento e sequestro de carbono; produção de oxigénio; remoção de poluentes; escoamento superficial evitado; compostos orgânicos voláteis; índice de Shannon; eficiência energética e os valores de substituição do arvoredo amostrado. Os mesmos são apresentados nas tabelas 6 a 19 com a identificação das espécies, com os resultados separados por freguesia e com o total geral. Quanto aos valores monetários, estes são apresentados nas figuras 13 a 16. Na remoção dos poluentes e escoamento superficial evitado os valores monetários são apresentados na tabela 9 a 12 e 15

##### 4.2.1. Armazenamento de carbono (C)

O armazenamento de C é apresentado na tabela 6, onde foi efetuada a comparação entre as duas freguesias. O total de armazenamento de C tem o valor de 105,67 toneladas de C, nas árvores amostradas.

A *Melia azedarach* é a espécie que armazena a maior quantidade de C, cerca de 38% do total de carbono armazenado, o *Styphnolobium japonicum* apresenta 14%, o *Jacaranda mimosifolia* 13%, o *Celtis australis* 8% e o *Platanus x hibryda* com 4%.

Estas são as cinco espécies mais dominantes na amostra e com maior quantidade de C armazenado, correspondendo a aproximadamente 78% da amostra total.

Tabela 6 - Armazenamento de carbono (kg). A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécies	Freguesia		Total Geral
	São Clemente	São Sebastião	
	kg	kg	kg
<i>Acer negundo</i>	3461,2		3461,2
<i>Albizia julibrissin</i>	2466,1		2466,1
<i>Bauhinia sp.</i>		87,6	87,6
<i>Brachychiton sp.</i>	2193,0	1311,6	3504,6
<i>Cassia fistula</i>	26,5		26,5
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>7076,8</b>	<b>1231,0</b>	<b>8307,8</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>		1321,4	1321,4
<i>Cercis siliquastrum</i>	263,4		263,4
<i>Citrus x aurantium</i>	65,0		65,0
<i>Ficus microcarpa</i>	2439,5		2439,5
<i>Fraxinus angustifolia</i>	1271,1		1271,1
<i>Ginkgo biloba</i>		17,4	17,4
<i>Grevillea robusta</i>		971,5	971,5
<i>Hibiscus syriacus</i>	4,7		4,7
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>14153,3</b>		<b>14153,3</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	3,2	44,0	47,2
<i>Liriodendro tulipifera</i>		3,0	3,0
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>34201,8</b>	<b>5450,9</b>	<b>39652,7</b>
<i>Olea europea</i>	2691,7	198,3	2890
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>4714,4</b>		<b>4714,4</b>
<i>Populus nigra</i>	414,6	174,2	588,8
<i>Prunus dulcis</i>		698,2	698,2
<i>Punica granatum</i>	6,4		6,4
<i>Schinus molle</i>		2,82	268
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>15002,7</b>		<b>15002,7</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>		34,2	34,2
<i>Tilia americana</i>	1248,6		1248,6
<i>Tilia cordata</i>	1106,8	241,6	1348,4
<i>Tipuana tipu</i>	103,9		103,9
<i>Washingtonia filifera</i>	43,3		43,3
<i>Washingtonia robusta</i>	124,1	542,6	666,7
Total Geral	93082,1	12327,5	105677,6

Para além da quantidade, o porte e a longevidade do exemplar, são os fatores que mais contribuem para o armazenamento do C. O total de C armazenado pelas árvores da amostra corresponde a uma quantidade de 105,67 toneladas, à data, equivalente a um total de 12800,00 euros.

As dez espécies com maior estimativa de valores monetários de armazenamento de C representam 11340,55 euros ou cerca de 90% do total do valor do armazenamento de C (Figura 13).

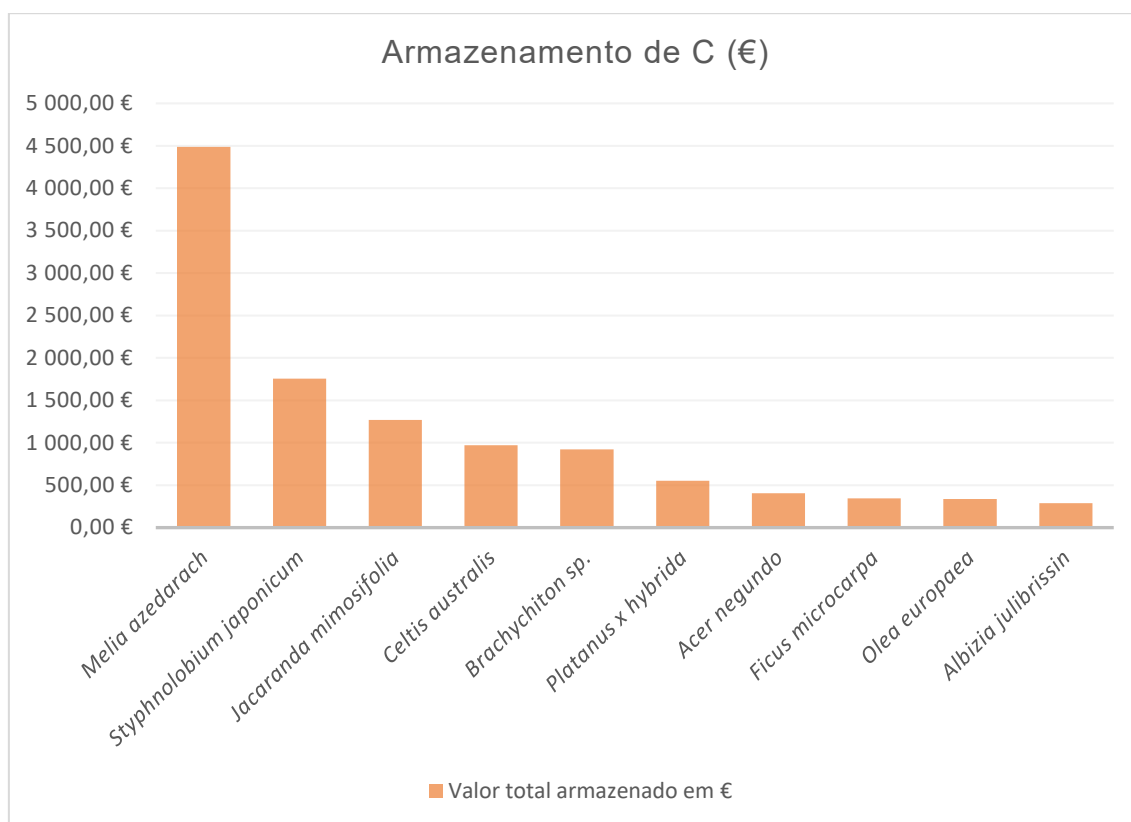


Figura 13 - Valores monetários em euros para as dez espécies com maior armazenamento de carbono do total da amostra

#### 4.2.2. Sequestro bruto de carbono (C)

O arvoredo contribui para o sequestro do C da atmosfera. Por sua vez, o sequestro de C, contribui para a mitigação das alterações climáticas e para a mitigação do fenómeno das ilhas de calor. Este SE é providenciado pelas árvores de duas formas: pela sombra que estas nos proporcionam e pelo sequestro do C através do processo de fotossíntese, diminuindo a acumulação de um gás com efeito estufa significativo. Apresenta-se, na tabela 7, uma comparação entre as duas freguesias, que no total, resultam em 8,68 toneladas de C sequestrado anualmente pelas espécies amostradas.

A *Melia azedarach* sequestra a maior quantidade de carbono, cerca de 36% do total de carbono sequestrado. Com valores decrescentes, mas ainda significativos, o *Styphnolobium japonicum* apresenta 16%, o *Jacaranda mimosifolia* 14%, o *Celtis australis* 7% e o *Platanus x hibryda* 5%. Estas são as cinco espécies com maior

quantidade de C sequestrado anualmente, correspondendo a aproximadamente 78% da amostra total.

Tabela 7 - Sequestro bruto de carbono (kg/ano). A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécies	Freguesia		Total Geral
	São Clemente	São Sebastião	
	kg/ano	kg/ano	kg/ano
<i>Acer negundo</i>	361,2		361,2
<i>Albizia julibrissin</i>	290,6		290,6
<i>Bauhinia sp.</i>		24,1	24,1
<i>Brachychiton sp.</i>	174,4	74,3	248,7
<i>Cassia fistula</i>	7,5		7,5
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>516,9</b>	<b>91,1</b>	<b>608,0</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>		16,0	16,0
<i>Cercis siliquastrum</i>	44,8		44,8
<i>Citrus x aurantium</i>	4,1		4,1
<i>Ficus microcarpa</i>	187,3		187,3
<i>Fraxinus angustifolia</i>	121,8		121,8
<i>Ginkgo biloba</i>		2,5	2,5
<i>Grevillea robusta</i>		52,5	52,5
<i>Hibiscus syriacus</i>	3,2		3,2
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>1214,0</b>		<b>1214,0</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,8	16,7	17,5
<i>Liriodendro tulipifera</i>		1,9	1,9
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>2587,5</b>	<b>537,8</b>	<b>3125,3</b>
<i>Olea europea</i>	132,0	10,2	142,2
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>431,8</b>		<b>431,8</b>
<i>Populus nigra</i>	42,1	33,6	75,7
<i>Prunus dulcis</i>		51,0	51,0
<i>Punica granatum</i>	1,0		1,0
<i>Schinus molle</i>		2,0	2,0
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>1264,5</b>		<b>1264,5</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>		1,5	1,5
<i>Tilia americana</i>	148,6		148,6
<i>Tilia cordata</i>	124,5	54,9	179,4
<i>Tipuana tipu</i>	13,5		13,5
<i>Washingtonia filifera</i>	2,8		2,8
<i>Washingtonia robusta</i>	8,2	25,7	33,9
Total Geral	7683,1	995,8	8678,9

O total de C sequestrado pelas árvores da amostra, 8,68 toneladas, equivale a um total de 2050,63 euros. As dez espécies com maior representatividade no sequestro

de C representam, à data, 1863,97 euros ou cerca de 91% do total da taxa de sequestro de C na cidade de Loulé (Figura 14).

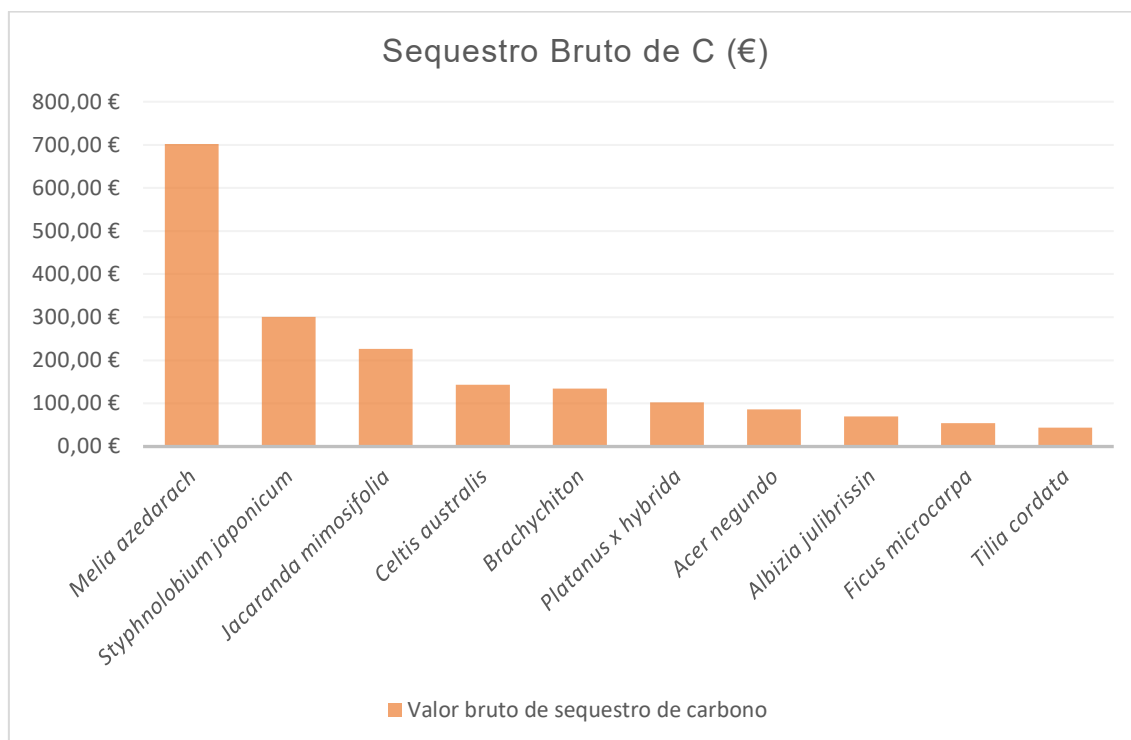


Figura 14 - Valores monetários em euros/ano para as dez espécies com maior sequestro de carbono do total da amostra

#### 4.2.3. Produção de oxigénio (O<sub>2</sub>)

Um dos benefícios mais importantes das árvores de arruamento é a produção de oxigénio (O<sub>2</sub>). É através do processo fotossíntese (CO<sub>2</sub> e luz solar) que são sintetizados compostos orgânicos e libertado O<sub>2</sub> (o que permite o armazenamento e o sequestro de carbono, processo que também contribui para o crescimento da árvore).

A comparação entre o O<sub>2</sub> produzido nas duas freguesias é apresentada na tabela 8. No total da amostra resulta a produção de 23,14 toneladas de O<sub>2</sub> anualmente.

A *Melia azedarach* é a espécie que produz a maior quantidade de O<sub>2</sub>, cerca de 36% do total da produção. O *Styphnolobium japonicum* apresenta 15% da produção, o *Jacaranda mimosifolia* 14%, o *Celtis australis* 7% e o *Platanus x hibryda* 5%. Estas são as cinco espécies com maior quantidade de produção de O<sub>2</sub> anual, correspondendo a aproximadamente 77% da produção da amostra total.

Tabela 8 - Produção de oxigénio (kg/ano). A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécie	Freguesia		Total Geral
	São Clemente	São Sebastião	
	kg/ano	kg/ano	kg/ano
<i>Acer negundo</i>	963,4		963,4
<i>Albizia julibrissin</i>	775,0		775
<i>Bauhinia sp.</i>		64,2	64,2
<i>Brachychiton sp.</i>	465,3	198,4	663,7
<i>Cassia fistula</i>	20,0		20,0
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>1380,1</b>	<b>242,7</b>	<b>1622,8</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>		42,5	42,5
<i>Cercis siliquastrum</i>	119,2		119,2
<i>Citrus x aurantium</i>	11,0		11,0
<i>Ficus microcarpa</i>	499,8		499,8
<i>Fraxinus angustifolia</i>	325,1		325,1
<i>Ginkgo biloba</i>		6,9	6,9
<i>Grevillea robusta</i>		140,0	140,0
<i>Hibiscus syriacus</i>	8,5		8,5
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>3237,6</b>		<b>3237,6</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	2,0	44,4	46,4
<i>Liriodendro tulipifera</i>		5,1	5,1
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>6898,0</b>	<b>1433,0</b>	<b>8331,0</b>
<i>Olea europea</i>	351,8	27,2	379,0
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>1150,7</b>		<b>1150,7</b>
<i>Populus nigra</i>	112,1	89,8	201,9
<i>Prunus dulcis</i>		135,9	135,9
<i>Punica granatum</i>	2,6		2,6
<i>Schinus molle</i>		5,3	5,3
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>3371,3</b>		<b>3371,3</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>		4,1	4,1
<i>Tilia americana</i>	397,0		397,0
<i>Tilia cordata</i>	333,1	145,2	478,3
<i>Tipuana tipu</i>	36,1		36,1
<i>Washingtonia filifera</i>	7,5		7,5
<i>Washingtonia robusta</i>	21,9	68,8	90,7
Total Geral	20489,1	2653,5	23142,6

#### 4.2.4. Remoção de poluentes

A qualidade do ar é uma preocupação comum em diversas áreas urbanas. A sua má qualidade pode levar a uma diminuição da saúde humana, causar danos na paisagem, nos ecossistemas e reduzir a visibilidade. A floresta urbana contribui para melhorar a qualidade do ar ao remover poluentes quer diretamente, por remoção de poluentes, quer indiretamente, na medida em que a redução do consumo de energia

nos edifícios leva também a redução das emissões poluentes. Estes consistem: no monóxido de carbono (CO); ozono (O<sup>3</sup>); partículas PM 2.5 e PM 10; dióxido de enxofre (SO<sup>2</sup>); e dióxido de azoto (NO<sup>2</sup>).

### Monóxido de carbono (CO)

O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro, incolor e tóxico, produzido na queima de combustíveis fósseis, sendo esta, uma das principais fontes de emissão de monóxido de carbono. A exposição a altos níveis de CO é nociva para a saúde humana (Kai Chen *et.al.*,2021).

Na tabela 9 verifica-se que as espécies que mais contribuem para a remoção deste poluente são: o *Celtis australis* (1285,6 g/ano), a *Melia azedarach* (1197,6 g/ano) e o *Platanus x hibryda* (1056,0 g/ano).

Tabela 9 - Remoção de poluentes CO. A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécie	Freguesia				Total Geral	
	São Clemente		São Sebastião		g/ano	€/ano
	g/ano	€/ano	g/ano	€/ano		
<i>Acer negundo</i>	249,7	0,23			249,7	0,23
<i>Albizia julibrissin</i>	198,2	0,20			198,2	0,20
<i>Bauhinia sp,</i>			2,9	0,00	2,9	0,00
<i>Brachychiton sp,</i>	76,8	0,07	17,9	0,01	94,7	0,08
<i>Cassia fistula</i>	1,0	0,00			1,0	0,00
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>1285,6</b>	<b>1,22</b>	<b>215,8</b>	<b>0,18</b>	<b>1501,4</b>	<b>1,40</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>			58,1	0,05	58,1	0,05
<i>Cercis siliquastrum</i>	14,6	0,01			14,6	0,01
<i>Citrus x aurantium</i>	0,9	0,00			0,9	0,00
<i>Ficus microcarpa</i>	164,1	0,19			164,1	0,19
<i>Fraxinus angustifolia</i>	157,5	0,15			157,5	0,15
<i>Ginkgo biloba</i>			6,0	0,00	6,0	0,00
<i>Grevillea robusta</i>			44,1	0,05	44,1	0,05
<i>Hibiscus syriacus</i>	0,2	0,00			0,2	0,00
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>877</b>	<b>0,89</b>			<b>877,0</b>	<b>0,89</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,1	0,00	1,3	0,00	1,4	0,00
<i>Liriodendro tulipifera</i>			0,3	0,00	0,3	0,00
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>1197,6</b>	<b>1,22</b>	<b>173,9</b>	<b>0,16</b>	<b>1371,5</b>	<b>1,38</b>
<i>Olea europea</i>	92,2	0,1	10,9	0,01	103,1	0,11
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>1056,0</b>	<b>1,08</b>			<b>1056,0</b>	<b>1,08</b>
<i>Populus nigra</i>	29,8	0,03	40,0	0,04	69,8	0,07
<i>Prunus dulcis</i>			17,0	0,02	17,0	0,02

Espécie	Freguesia				Total Geral	
	São Clemente		São Sebastião		g/ano	€/ano
	g/ano	€/ano	g/ano	€/ano		
<i>Punica granatum</i>	0,0	0,00			0,0	0,00
<i>Schinus molle</i>			27,6	0,03	27,6	0,03
<i>Styphnolobium japonicum</i>	398,6	0,33			398,6	0,33
<i>Syagrus romanzoffiana</i>			3,3	0,00	3,3	0,00
<i>Tilia americana</i>	169,2	0,17			169,2	0,17
<i>Tilia cordata</i>	72,6	0,05	25,9	0,01	98,5	0,06
<i>Tipuana tipu</i>	7,6	0,00			7,6	0,00
<i>Washingtonia filifera</i>	0,6	0,00			0,6	0,00
<i>Washingtonia robusta</i>	2,5	0,00	12,5	0,00	15	0,00
Total Geral	6052,4	5,94	657,5	0,56	6709,9	6,50

### Ozono (O<sub>3</sub>)

A poluição provocada pelo ozono nas cidades provoca problemas na saúde humana, principalmente no verão, quando os níveis de O<sub>3</sub> são elevados, levando a problemas respiratórios, com possibilidade de agravar sintomas de asma ou outros problemas (EPA, 2022).

Na tabela 10 verifica-se que as espécies que mais contribuem para a remoção deste poluente são: o *Celtis australis* (25534,5 g/ano), a *Melia azedarach* (23762,9 g/ano), o *Platanus x hibryda* (20958,4 g/ano), o *Jacaranda mimosifolia* (17402,2 g/ano) e o *Styphnolobium japonicum* (7920,2 g/ano). O ozono é um dos poluentes com uma maior taxa de remoção pelo arvoredo urbano de Loulé, correspondendo a cerca de 133,21 kg/ano.

Tabela 10 - Remoção de poluentes O<sub>3</sub>. A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécie	Freguesia				Total Geral	
	São Clemente		São Sebastião		g/ano	€/ano
	g/ano	€/ano	g/ano	€/ano		
<i>Acer negundo</i>	4960,2	3,73			4960,2	3,73
<i>Albizia julibrissin</i>	3932,1	2,95			3932,1	2,95
<i>Bauhinia sp,</i>			55,8	0,02	55,8	0,02
<i>Brachychiton sp,</i>	1523,4	1,16	355,9	0,27	1879,3	1,43
<i>Cassia fistula</i>	19,2	0,01			19,2	0,01
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>25534,5</b>	<b>19,28</b>	<b>4286,1</b>	<b>3,24</b>	<b>29820,6</b>	<b>22,52</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>			1152,7	0,87	1152,7	0,87
<i>Cercis siliquastrum</i>	291,3	0,23			291,3	0,23
<i>Citrus x aurantium</i>	17,6	0,01			17,6	0,01

Espécie	Freguesia				Total Geral	
	São Clemente		São Sebastião		g/ano	€/ano
	g/ano	€/ano	g/ano	€/ano		
<i>Ficus microcarpa</i>	3258,6	2,46			3258,6	2,46
<i>Fraxinus angustifolia</i>	3129	2,36			3129	2,36
<i>Ginkgo biloba</i>			117,5	0,07	117,5	0,07
<i>Grevillea robusta</i>			874,6	0,66	874,6	0,66
<i>Hibiscus syriacus</i>	5,0	0,0			5,0	0,0
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>17402,2</b>	<b>13,17</b>			<b>17402,2</b>	<b>13,17</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	1,6	0,0	28,7	0,0	30,3	0,0
<i>Liriodendro tulipifera</i>			6,7	0,01	6,7	0,01
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>23762,9</b>	<b>17,88</b>	<b>3453,3</b>	<b>2,63</b>	<b>27216,2</b>	<b>20,51</b>
<i>Olea europea</i>	1833	1,4	216,2	0,16	2049,2	1,56
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>20958,4</b>	<b>15,78</b>			<b>20958,4</b>	<b>15,78</b>
<i>Populus nigra</i>	591,5	0,44	793,8	0,59	1385,3	1,03
<i>Prunus dulcis</i>			336,3	0,26	336,3	0,26
<i>Punica granatum</i>	0,7	0,0			0,7	0,0
<i>Schinus molle</i>			547,8	0,41	547,8	0,41
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>7920,2</b>	<b>5,99</b>			<b>7920,2</b>	<b>5,99</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>			64,3	0,04	64,3	0,04
<i>Tilia americana</i>	3364,8	2,57			3364,8	2,57
<i>Tilia cordata</i>	1440,3	1,09	513,5	0,41	1953,8	1,5
<i>Tipuana tipu</i>	152,1	0,11			152,1	0,11
<i>Washingtonia filifera</i>	11,7	0,01			11,7	0,01
<i>Washingtonia robusta</i>	49,1	0,04	248,8	0,2	297,9	0,24
Total Geral	120159,4	90,67	13052	9,84	133211,4	100,51

### Partículas inferiores a 10 micra (PM10) e inferiores a 2,5 micra (PM 2.5)

A partículas PM referem-se a partículas de aerossol sólidas ou líquidas suspensas na atmosfera. Podem ser menores que 10 micra ou menores que 2,5 micra, designando-se respetivamente PM 10 e PM 2,5. Podem ter origem em fontes naturais, tais como as erupções vulcânicas e tempestades de areia ou origem antropogénico, tal como a queima de combustíveis fósseis (Riondato *et al.*, 2020). As árvores removem PM10 e PM 2,5 quando as partículas são depositadas na superfície das folhas. Estas partículas podem ser devolvidas para a atmosfera ou removidas da superfície das folhas durante chuvadas e dissolvidas ou transferidas para o solo (Soares *et al.*, 2022).

Na tabela 11, abaixo apresentada, é visível que as espécies que mais contribuem para a remoção de PM10 são o *Celtis australis* (5115,6 g/ano), a *Melia azedarach* (4760,7 g/ano), o *Platanus x hibryda* (4199 g/ano), o *Jacaranda mimosifolia* (3486,5 g/ano) e o *Styphnolobium japonicum* (1586,5 g/ano).

Tabela 11 - Remoção de poluentes PM10. A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécie	Freguesia				Total Geral	
	São Clemente		São Sebastião		g/ano	€/ano
	g/ano	€/ano	g/ano	€/ano		
<i>Acer negundo</i>	993,6	1,99			993,6	1,99
<i>Albizia julibrissin</i>	787,6	1,60			787,6	1,60
<i>Bauhinia sp,</i>			11,1	0,01	11,1	0,01
<i>Brachychiton sp,</i>	305,1	0,60	71,4	0,14	376,5	0,74
<i>Cassia fistula</i>	3,8	0,01			3,8	0,01
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>5115,6</b>	<b>10,06</b>	<b>858,7</b>	<b>1,69</b>	<b>5974,3</b>	<b>11,75</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>			230,9	0,46	230,9	0,46
<i>Cercis siliquastrum</i>	58,3	0,09			58,3	0,09
<i>Citrus x aurantium</i>	3,5	0,01			3,5	0,01
<i>Ficus microcarpa</i>	652,8	1,30			652,8	1,30
<i>Fraxinus angustifolia</i>	627,1	1,24			627,1	1,24
<i>Ginkgo biloba</i>			23,4	0,03	23,4	0,03
<i>Grevillea robusta</i>			175,2	0,35	175,2	0,35
<i>Hibiscus syriacus</i>	1,0	0,00			1,0	0,00
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>3486,5</b>	<b>6,91</b>			<b>3486,5</b>	<b>6,91</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,3	0,00	5,9	0,00	6,2	0,00
<i>Liriodendro tulipifera</i>			1,3	0,00	1,3	0,00
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>4760,7</b>	<b>9,43</b>	<b>691,9</b>	<b>1,35</b>	<b>5452,6</b>	<b>10,78</b>
<i>Olea europea</i>	367,4	0,72	43,3	0,09	410,7	0,81
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>4199</b>	<b>8,29</b>			<b>4199</b>	<b>8,29</b>
<i>Populus nigra</i>	118,5	0,23	159	0,31	277,5	0,54
<i>Prunus dulcis</i>			67,4	0,13	67,4	0,13
<i>Punica granatum</i>	0,1	0,00			0,1	0,00
<i>Schinus molle</i>			109,7	0,22	109,7	0,22
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>1586,5</b>	<b>3,13</b>			<b>1586,5</b>	<b>3,13</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>			12,9	0,02	12,9	0,02
<i>Tilia americana</i>	673,8	1,30			673,8	1,30
<i>Tilia cordata</i>	288,5	0,56	102,8	0,18	391,3	0,74
<i>Tipuana tipu</i>	30,5	0,06			30,5	0,06
<i>Washingtonia filifera</i>	2,3	0,00			2,3	0,00
<i>Washingtonia robusta</i>	9,9	0,02	49,9	0,10	59,8	0,12
Total Geral	24072,4	47,55	2614,8	5,08	26687,2	52,63

Na tabela 12, abaixo apresentada, as espécies que mais contribuem para a remoção de PM2,5 são, o *Celtis australis* (112,4 gramas/ano), a *Melia azedarach* (105,1 g/ano), o *Platanus x hibryda* (92,5 g/ano), o *Jacaranda mimosifolia* (77,3 g/ano) e o *Styphnolobium japonicum* (34,8 g/ano).

Tabela 12 - Remoção de poluentes PM2.5. A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécie	Freguesia				Total Geral	
	São Clemente		São Sebastião		g/ano	€/ano
	g/ano	€/ano	g/ano	€/ano		
<i>Acer negundo</i>	21,8	0,59			21,8	0,59
<i>Albizia julibrissin</i>	17,1	0,45			17,1	0,45
<i>Bauhinia sp,</i>			0,1	0,00	0,1	0,00
<i>Brachychiton sp,</i>	7	0,15	1,6	0,04	8,6	0,19
<i>Cassia fistula</i>	0,1	0,00			0,1	0,00
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>112,4</b>	<b>2,96</b>	<b>19,0</b>	<b>0,50</b>	<b>131,4</b>	<b>3,46</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>			5,1	0,13	5,1	0,13
<i>Cercis siliquastrum</i>	1,2	0,02			1,2	0,02
<i>Citrus x aurantium</i>	0,1	0,00			0,1	0,00
<i>Ficus microcarpa</i>	14,5	0,38			14,5	0,38
<i>Fraxinus angustifolia</i>	13,8	0,35			13,8	0,35
<i>Ginkgo biloba</i>			0,3	0,01	0,3	0,01
<i>Grevillea robusta</i>			3,9	0,10	3,9	0,10
<i>Hibiscus syriacus</i>	0,0	0,00			0,0	0,00
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>77,3</b>	<b>2,08</b>			<b>77,3</b>	<b>2,08</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00
<i>Liriodendro tulipifera</i>			0,0	0,00	0,0	0,00
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>105,1</b>	<b>2,76</b>	<b>15,5</b>	<b>0,38</b>	<b>120,6</b>	<b>3,14</b>
<i>Olea europea</i>	8,2	0,21	1,0	0,03	9,2	0,24
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>92,5</b>	<b>2,43</b>			<b>92,5</b>	<b>2,43</b>
<i>Populus nigra</i>	2,6	0,07	3,5	0,09	6,1	0,16
<i>Prunus dulcis</i>			1,5	0,03	1,5	0,03
<i>Punica granatum</i>	0,0	0,00			0,0	0,00
<i>Schinus molle</i>			2,4	0,06	2,4	0,06
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>34,8</b>	<b>0,91</b>			<b>34,8</b>	<b>0,91</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>			0,2	0,00	0,2	0,00
<i>Tilia americana</i>	14,9	0,36			14,9	0,36
<i>Tilia cordata</i>	6,2	0,16	2,6	0,03	8,8	0,19
<i>Tipuana tipu</i>	0,7	0,02			0,7	0,02
<i>Washingtonia filifera</i>	0,1	0,00			0,1	0,00
<i>Washingtonia robusta</i>	0,2	0,00	1,1	0,03	1,3	0,03
Total Geral	530,6	13,9	57,8	1,43	588,4	15,33

### Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>)

A poluição por dióxido de enxofre, constitui um problema nas áreas urbanas e em áreas industrializadas que usam combustíveis fósseis como fonte de energia. Este

é um poluente altamente nocivo para a saúde humana (Zhang *et al.*, 2017; Likus-Cieślík *et al.*, 2020).

Na tabela 13 é perceptível que as espécies da amostra que mais contribuem para a remoção deste poluente são o *Celtis australis* (1533,9 g/ano), a *Melia azedarach* (1427,3 g/ano), o *Platanus x hibryda* (1259 g/ano) e o *Jacaranda mimosifolia* (1045,7 g/ano).

Tabela 13 - Remoção de poluentes SO<sub>2</sub>. A negrito os valores mais significativos no total geral

Espécie	Freguesia		Total Geral
	São Clemente	São Sebastião	
	g/ano	g/ano	g/ano
<i>Acer negundo</i>	297,7		297,7
<i>Albizia julibrissin</i>	235,8		235,8
<i>Bauhinia sp,</i>		3,4	3,4
<i>Brachychiton sp,</i>	91,5	21,3	112,8
<i>Cassia fistula</i>	1,2		1,2
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>1533,9</b>	<b>257,3</b>	<b>1791,2</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>		69,2	69,2
<i>Cercis siliquastrum</i>	17,5		17,5
<i>Citrus x aurantium</i>	1,1		1,1
<i>Ficus microcarpa</i>	195,6		195,6
<i>Fraxinus angustifolia</i>	188,0		188
<i>Ginkgo biloba</i>		6,9	6,9
<i>Grevillea robusta</i>		52,5	52,5
<i>Hibiscus syriacus</i>	0,3		0,3
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>1045,7</b>		<b>1045,7</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,1	1,6	1,7
<i>Liriodendro tulipifera</i>		0,4	0,4
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>1427,3</b>	<b>207,4</b>	<b>1634,7</b>
<i>Olea europea</i>	110,2	13	123,2
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>1259,0</b>		<b>1259,0</b>
<i>Populus nigra</i>	35,5	47,8	83,3
<i>Prunus dulcis</i>		20,2	20,2
<i>Punica granatum</i>	0,0		0,0
<i>Schinus molle</i>		32,9	32,9
<i>Styphnolobium japonicum</i>	475,0		475,0
<i>Syagrus romanzoffiana</i>		3,9	3,9
<i>Tilia americana</i>	201,7		201,7
<i>Tilia cordata</i>	86,5	30,9	117,4
<i>Tipuana tipu</i>	9,2		9,2
<i>Washingtonia filifera</i>	0,7		0,7
<i>Washingtonia robusta</i>	2,9	15,0	17,9
Total Geral	7216,4	783,7	8000,1

## Dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>)

O NO<sub>2</sub> é um subtipo do grupo de poluentes do ar, conhecidos como óxidos de nitrogénio (NO<sub>x</sub>), que são gases altamente reativos. Diversas investigações sobre o efeito destes gases nas populações humanas (World Health Organization, 2006; World Health Organization, 2021) indicam que a exposição prolongada a níveis elevados de NO<sub>2</sub> pode reduzir a função pulmonar, aumentar o risco de sintomas respiratórios como bronquite e catarro, especialmente em crianças e pessoas com asma (Ignasi de-Pouplana *et al.*, 2023)

Nos resultados apresentados na tabela 14, as espécies que mais contribuem para a remoção deste poluente são: o *Celtis australis* (1715,4 g/ano), a *Melia azedarach* (1596,5 g/ano), o *Platanus x hibryda* (1407,9 /ano), o *Jacaranda mimosifolia* (1169,1 g/ano) e o *Styphnolobium japonicum* (531,8 g/ano).

Tabela 14 - Remoção de poluentes NO<sub>2</sub>. A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécie	Freguesia		Total Geral
	São Clemente	São Sebastião	
	g/ano	g/ano	g/ano
<i>Acer negundo</i>	333,4		333,4
<i>Albizia julibrissin</i>	263,9		263,9
<i>Bauhinia sp,</i>		3,7	3,7
<i>Brachychiton sp,</i>	102,3	23,8	126,1
<i>Cassia fistula</i>	1,3		1,3
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>1715,4</b>	<b>287,8</b>	<b>2003,2</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>		77,5	77,5
<i>Cercis siliquastrum</i>	19,5		19,5
<i>Citrus x aurantium</i>	1,2		1,2
<i>Ficus microcarpa</i>	218,7		218,7
<i>Fraxinus angustifolia</i>	210,2		210,2
<i>Ginkgo biloba</i>		7,9	7,9
<i>Grevillea robusta</i>		58,7	58,7
<i>Hibiscus syriacus</i>	0,3		0,3
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>1169,1</b>		<b>1169,1</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,1	2,0	2,1
<i>Liriodendro tulipifera</i>		0,5	0,5
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>1596,5</b>	<b>231,8</b>	<b>1828,3</b>
<i>Olea europea</i>	123,2	14,5	137,7
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>1407,9</b>		<b>1407,9</b>
<i>Populus nigra</i>	39,7	53,3	93
<i>Prunus dulcis</i>		22,5	22,5
<i>Punica granatum</i>	0,0		0,0

<i>Schinus molle</i>		36,8	36,8
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>531,8</b>		<b>531,8</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>		4,3	4,3
<i>Tilia americana</i>	225,7		225,7
<i>Tilia cordata</i>	96,5	34,6	131,1
<i>Tipuana tipu</i>	10,2		10,2
<i>Washingtonia filifera</i>	0,8		0,8
<i>Washingtonia robusta</i>	3,3	16,8	20,1
Total Geral	8071	876,5	8947,5

Adicionando todos os resultados de remoção de poluentes, obtém-se um total para as árvores da amostra de 184,1 kg/ano de poluentes, o qual é equivalente a um total de 177,00 euros anualmente.

As dez espécies com maior estimativa de valores monetários representam 66,72 euros e cerca de 38% do total do valor da remoção de poluentes, da amostra (Figura 15).

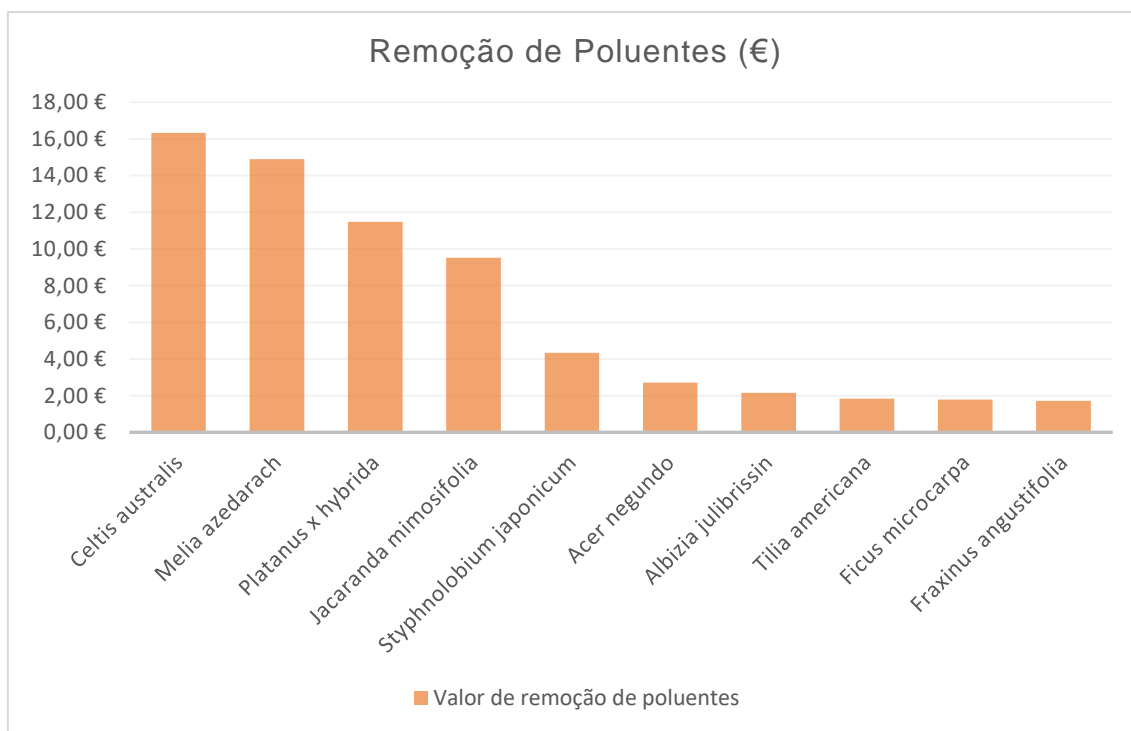


Figura 15 - Valores monetários em euros/ano para as dez espécies com maiores valores de remoção de poluentes.

#### 4.2.5. Escoamento superficial evitado

O escoamento superficial é causa de preocupação em diversas áreas urbanas e pode contribuir para a poluição das linhas de água, lagos e oceanos. As áreas urbanas são na sua maioria impermeabilizadas e quando ocorre precipitação grande parte da água não se infiltra no solo, escoamento superficialmente (*Hirabayashi et al., 2012*) e causando alagamentos e cheias em meio urbano, como tem sido verificado nos últimos anos em diversas cidades mediterrânicas.

Na comparação destes valores entre freguesias, apresentada na tabela 15, verifica-se que as espécies predominantes são as que existem maior quantidade permitindo assim uma melhor infiltração de água no solo.

Tabela 15 - Escoamento superficial evitado. A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécie	Freguesia				Total Geral	
	São Clemente		São Sebastião		m3/ano	€/ano
	m3/ano	€/ano	m3/ano	€/ano		
<i>Acer negundo</i>	1,0	16,04			1,0	16,04
<i>Albizia julibrissin</i>	1,0	12,75			1,0	12,75
<i>Bauhinia sp,</i>			0,0	0,18	0,0	0,18
<i>Brachychiton sp,</i>	0,1	4,90	0,0	1,16	0,1	6,06
<i>Cassia fistula</i>	0,0	0,06			0,0	0,06
<b><i>Celtis australis</i></b>	<b>7,4</b>	<b>82,62</b>	<b>0,9</b>	<b>13,89</b>	<b>8,3</b>	<b>96,51</b>
<i>Ceratonia siliqua</i>			0,4	3,74	0,4	3,74
<i>Cercis siliquastrum</i>	0,1	0,94			0,1	0,94
<i>Citrus x aurantium</i>	0,0	0,06			0,0	0,06
<i>Ficus microcarpa</i>	1,1	10,56			1,1	10,56
<i>Fraxinus angustifolia</i>	0,6	10,13			0,6	10,13
<i>Ginkgo biloba</i>			0,0	0,37	0,0	0,37
<i>Grevillea robusta</i>			0,3	2,83	0,3	2,83
<i>Hibiscus syriacus</i>	0,0	0,02			0,0	0,02
<b><i>Jacaranda mimosifolia</i></b>	<b>5,5</b>	<b>56,33</b>			<b>5,5</b>	<b>56,33</b>
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,0	0,01	0,0	0,09	0,0	0,10
<i>Liriodendro tulipifera</i>			0,0	0,02	0,0	0,02
<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>7,4</b>	<b>76,96</b>	<b>0,3</b>	<b>11,18</b>	<b>7,7</b>	<b>88,14</b>
<i>Olea europea</i>	0,5	5,93	0,1	0,70	0,6	6,63
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>6,6</b>	<b>67,9</b>			<b>6,6</b>	<b>67,9</b>
<i>Populus nigra</i>	0,2	1,91	0,4	2,57	0,6	4,48
<i>Prunus dulcis</i>			0,1	1,08	0,1	1,08
<i>Punica granatum</i>	0,0	0,00			0,0	0,00
<i>Schinus molle</i>			0,2	1,77	0,2	1,77
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>1,0</b>	<b>25,67</b>			<b>1,0</b>	<b>25,67</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>			0,0	0,21	0,0	0,21
<i>Tilia americana</i>	0,7	10,9			0,7	10,9

<i>Tilia cordata</i>	0,1	4,67	0,1	1,66	0,2	6,33
<i>Tipuana tipu</i>	0,0	0,49			0,0	0,49
<i>Washingtonia filifera</i>	0,0	0,04			0,0	0,04
<i>Washingtonia robusta</i>	0,0	0,16	0,0	0,80	0,0	0,96
Total Geral	33,3	389,05	2,8	42,25	36,1	431,3

O escoamento superficial evitado é estimado nos 36,1 m<sup>3</sup> anualmente, equivalente a um total de 431,30 euros.

As cinco espécies com maior estimativa de valores monetários representam 335,55 euros e cerca de 82% do total do valor escoamento evitado (Figura 16).

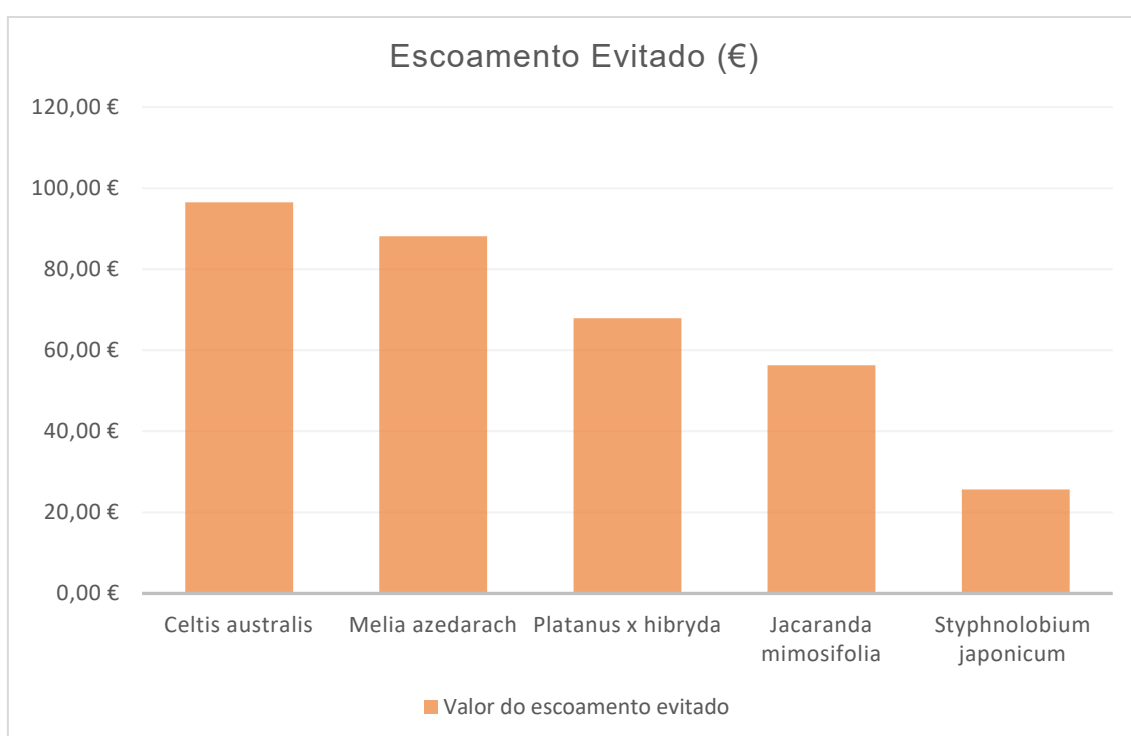


Figura 16 -Valores monetários em euros/ano para as cinco espécies que mais contribuem para o escoamento de águas evitado do total da amostra.

### 4.3. Desserviços

#### Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)

Os VOCs, são compostos orgânicos produzidos e emitidos pelas folhas das árvores, ramos e outras partes da árvore. Estes compostos, emitidos em alturas de temperaturas elevadas, incluem o isopreno e o monoterpeno, que contribuem para o odor da planta (Guenther *et al.*, 2012), Este composto causa impacto na qualidade do

ar e na saúde humana. As árvores de arruamento amostradas na cidade de Loulé apresentadas na tabela 16 produzem um valor estimado em 35687,2 g/ano.

Tabela 16 - Produção de VOCs g/ano. A negrito os valores mais significativos no total geral.

Espécie	Freguesia		Total Geral
	São Clemente	São Sebastião	
	g/ano	g/ano	gr/ano
<i>Acer negundo</i>	1545,1		1545,1
<b><i>Albizia julibrissin</i></b>	<b>4429,8</b>		<b>4429,8</b>
<i>Bauhinia sp,</i>		32,5	32,5
<i>Brachychiton sp,</i>	0,0	0,0	0,0
<i>Cassia fistula</i>	4,1		4,1
<i>Celtis australis</i>	763,3	128,1	891,4
<i>Ceratonia siliqua</i>		252,7	252,7
<i>Cercis siliquastrum</i>	0,1		0,1
<i>Citrus x aurantium</i>	4,1		4,1
<b><i>Ficus microcarpa</i></b>	<b>1680,1</b>		<b>1680,1</b>
<i>Fraxinus angustifolia</i>	0		0,0
<i>Ginkgo biloba</i>		93,0	93,0
<i>Grevillea robusta</i>		53,9	53,9
<i>Hibiscus syriacus</i>	0,0		0,0
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	0,0		0,0
<i>Lagerstroemia indica</i>	0,0	0,0	0,0
<i>Liriodendro tulipifera</i>		0,5	0,5
<i>Melia azedarach</i>	447,4	65	512,4
<i>Olea europea</i>	68,4	8,1	76,5
<b><i>Platanus x hibryda</i></b>	<b>17300,8</b>		<b>17300,8</b>
<b><i>Populus nigra</i></b>	<b>832,8</b>	<b>2468,4</b>	<b>3301,2</b>
<i>Prunus dulcis</i>		19,5	19,5
<i>Punica granatum</i>	0,0		0,0
<i>Schinus molle</i>		956,2	956,2
<b><i>Styphnolobium japonicum</i></b>	<b>3926,5</b>		<b>3926,5</b>
<i>Syagrus romanzoffiana</i>		138,5	138,5
<i>Tilia americana</i>	0,0		0,0
<i>Tilia cordata</i>	0,0	0,0	0,0
<i>Tipuana tipu</i>	88,6		88,6
<i>Washingtonia filifera</i>	14,3		14,3
<i>Washingtonia robusta</i>	60,2	305,2	365,4
Total Geral	31165,6	4521,6	35687,2

O isopreno produzido pelas árvores, presentes na borracha natural, na resina, óleos essenciais, carotenoides e esteroides, são precursores químicos para a formação de ozono, degradando a qualidade do ar na cidade (Soares *et al.*, 2022; Graça *et al.*, 2018; Nowak *et al.*, 2000). Os valores apresentados a zero, poderão justificar-se por

não existirem dados sobre a espécie e não pela ausência de emissões por parte da espécie.

Os exemplares que contribuem para as mais elevadas emissões de isopreno (figura 17) contribuem para a produção estimada de 28528,5 g/ano, 94% das emissões, sendo o *Platanus x hibryda* responsável por cerca de 57% das emissões, logo de seguido pela *Albizia julibrissin* com 14%, pelo *Populus nigra* com 13% e pelo *Styphnolobium japonicum* com 10% (Figura 17). Apesar de não serem as mais predominantes na amostra estas espécies são as que mais contribuem para as emissões de isopreno.

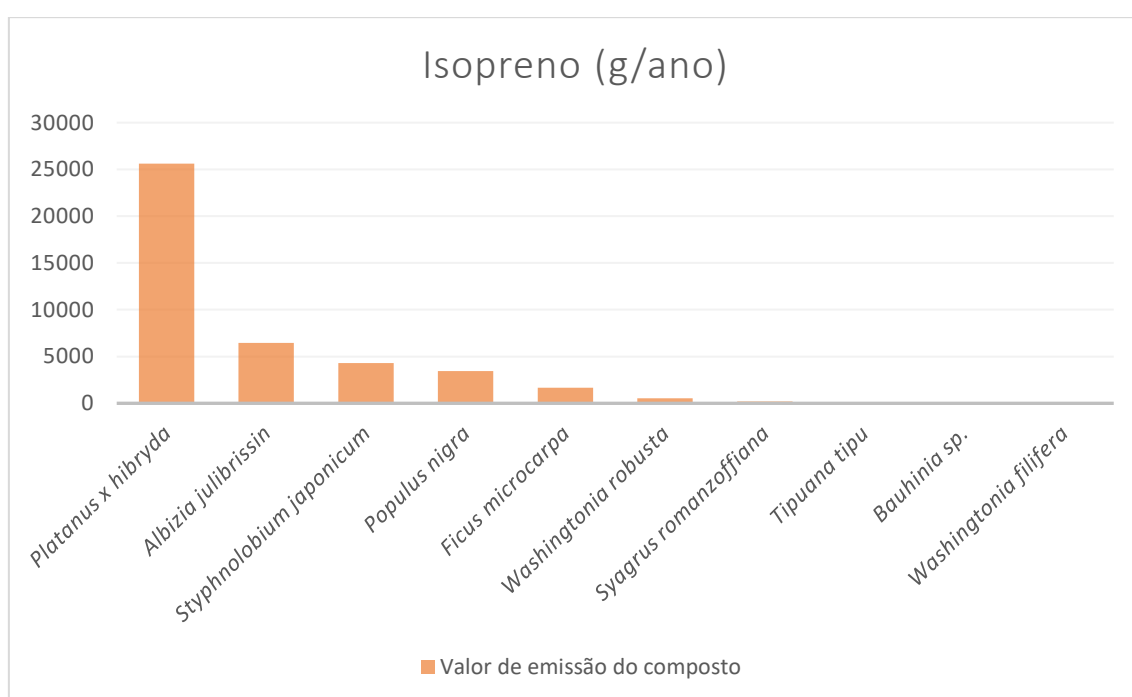


Figura 17 - Estimativa da emissão de isopreno para as dez espécies com maiores emissões.

O monoterpreno produzido pelas árvores, responsáveis pelos efeitos no ambiente local, emitem odor e cheiros, alguns agradáveis e outros irritantes (Soares *et al.*, 2022).

Os exemplares que contribuem para as elevadas emissões de monoterpreno (Figura 18), contribuem para a produção estimada de 6399,2 gr/ano ou 96% das emissões. Sendo o *Acer negundo* responsável por cerca de 24 % das emissões, seguido do *Styphnolobium japonicum* com 16%, da *Shinus molle* com 15% e do *Celtis australis* com 14%.

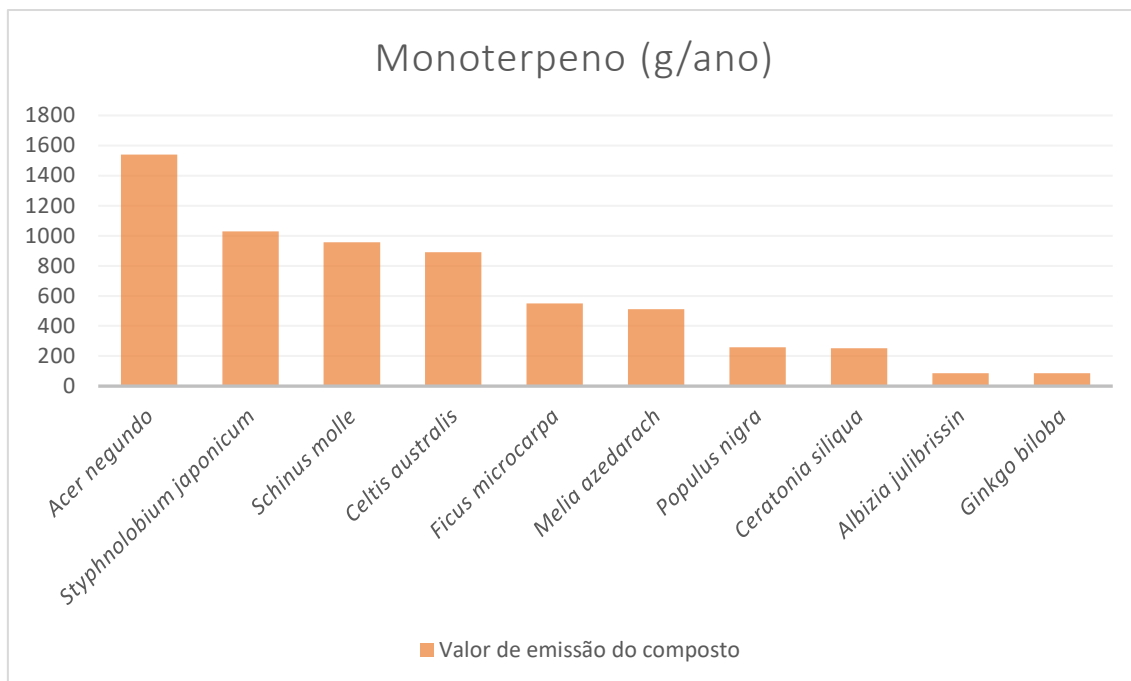


Figura 18 - Estimativa da emissão de monoterpeno para as dez espécies com maiores emissões.

#### 4.4. Eficiência energética

As árvores influenciam o consumo de energia pela sombra que proporcionam aos edifícios e à sua envolvente, proporcionando o arrefecimento do ar no verão ou bloqueando os ventos frios no inverno. A proximidade de árvores tende a reduzir o consumo de energia dos edifícios nos meses de verão e pode aumentar ou diminuir o uso de energia destes nos meses de inverno, dependendo da sua localização ao redor do edifício. As estimativas dos efeitos das árvores no uso de energia são baseadas em medições de campo da distância e direção das árvores relativamente aos edifícios residenciais (McPherson and Simpson *et al.*, 1999).

É estimado que as árvores da amostra, em Loulé, reduzam o consumo energético dos edifícios no verão em cerca de 786€ anualmente (Tabela 18). Mas existe um aumento do consumo energético no inverno na -4,13€ e -35,28 kg de emissões de C (Tabela 17). A diferença em valores pode dever-se a predominância das espécies de árvores caducifólias que no verão oferecem sombra aumentando o conforto térmico.

Os valores negativos que indicam que existe um aumento de emissões de carbono, devem-se à localização das árvores que, no inverno têm um efeito de arrefecimento sobre os edifícios, aumentando assim os custos do aquecimento. As estimativas apresentadas pelo i-Tree, no entanto, foram desenvolvidas para a realidade

dos Estados Unidos da América (EUA), a equipa responsável pelo software indica que os resultados podem não estar adaptados à realidade europeia ou a outras localizações que não sejam o EUA. O aumento de necessidades de aquecimento pela proximidade de árvores caducas não parece provável, no entanto, a diminuição de gastos em arrefecimento no verão justifica-se e é provável que assim seja. Mesmo que todos estes valores se verifiquem, os ganhos no verão compensam claramente as perdas de inverno.

Tabela 17 - Valores anuais de poupança energética devido à proximidade das árvores aos edifícios

Tipo	Aquecimento	Arrefecimento	Total
MBTU	-44,361	N/A	-44,361
MWH	-1,856	9,996	8,140
CO2 evitado (ton metrica)	-1201	1165	-0,035

Tabela 18 - Valores anuais de poupança energética (€)

Tipo	Aquecimento	Arrefecimento	Total
MBTU	-1 001	N/A	-1 001
MWH	-408	2 199	1 791
CO2 evitado	-140	136	-4

#### 4.5. Valor de substituição do arvoredo

O valor de substituição do arvoredo, determinado na avaliação efetuada da amostra, é baseado na avaliação do próprio recurso físico, ou seja, na substituição da árvore por outra semelhante e recorrendo a procedimentos padronizados (Soares *et al.*, 2022),

De acordo com os resultados, estima-se que substituir as 1003 árvores de arruamento amostradas na cidade de Loulé, custaria cerca de 825 396,51 euros (Tabela 19). Destacam-se: a *Melia azedarach* que, para além da sua abundância, são as espécies de grande porte e de maior longevidade; o *Celtis australis*, devido à sua abundância apresenta um valor total de substituição de 202 392,12 euros.

Ocorrem outras espécies de porte e longevidade elevado, que apresentam custos de substituição elevados, tais como, o *Schinus molle*, a *Grevillea robusta* e a *Ceratonia siliqua*.

Tabela 19 - Valor total de substituição do arvoredo amostrado. A negrito as espécies com valor unitário mais elevado.

Quantidades	Espécies	Valor total de substituição	Valor médio de substituição por árvore
<b>159</b>	<b><i>Melia azedarach</i></b>	<b>223 729,34 €</b>	<b>1 407,10 €</b>
239	<i>Celtis australis</i>	202 391,12 €	846,82 €
103	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	98 119,45 €	952,62 €
71	<i>Platanus x hybrida</i>	60 740,79 €	855,50 €
101	<i>Styphnolobium japonicum</i>	47 268,48 €	468,00 €
26	<i>Brachychiton</i>	28 126,53 €	1 081,79 €
34	<i>Tilia americana</i>	23 258,58 €	684,08 €
30	<i>Albizia julibrissin</i>	22 894,78 €	763,16 €
52	<i>Tilia cordata</i>	19 769,43 €	380,18 €
49	<i>Acer negundo</i>	19 698,58 €	402,01 €
<b>12</b>	<b><i>Ficus microcarpa</i></b>	<b>14 726,33 €</b>	<b>1 227,19 €</b>
16	<i>Olea europaea</i>	12 030,15 €	751,88 €
27	<i>Fraxinus angustifolia</i>	10 913,74 €	404,21 €
<b>1</b>	<b><i>Schinus molle</i></b>	<b>9 528,79 €</b>	<b>9 528,79 €</b>
<b>3</b>	<b><i>Ceratonia siliqua</i></b>	<b>9 226,92 €</b>	<b>3 075,64 €</b>
<b>1</b>	<b><i>Grevillea robusta</i></b>	<b>4 024,93 €</b>	<b>4 024,93 €</b>
8	<i>Populus nigra</i>	3 931,02 €	491,38 €
8	<i>Washingtonia robusta</i>	3 665,15 €	458,14 €
8	<i>Cercis siliquastrum</i>	3 061,93 €	382,74 €
3	<i>Prunus dulcis</i>	2 600,51 €	866,84 €
10	<i>Bauhinia</i>	1 468,21 €	146,82 €
2	<i>Syagrus romanzoffiana</i>	831,41 €	415,71 €
12	<i>Lagerstroemia indica</i>	752,57 €	62,71 €
17	<i>Ginkgo biloba</i>	699,81 €	41,17 €
1	<i>Washingtonia filifera</i>	516,46 €	516,46 €
1	<i>Cassia fistula</i>	433,47 €	433,47 €
3	<i>Tipuana tipu</i>	414,28 €	138,09 €
1	<i>Citrus x aurantium</i>	366,30 €	366,30 €
3	<i>Hibiscus syriacus</i>	100,59 €	33,53 €
1	<i>Liriodendron tulipifera</i>	97,74 €	97,74 €
1	<i>Punica granatum</i>	9,13 €	9,13 €
<b>1003</b>	<b>Total</b>	<b>825 396,51 €</b>	<b>822,93 €</b>

#### 4.6. Extrapolação dos resultados

Os resultados obtidos para os SE avaliados com a amostra de 1003 árvores foram extrapolados para a totalidade das árvores de arruamento da cidade de Loulé, obtendo uma estimativa dos SE para toda a cidade.

A extrapolação dos resultados está representada na tabela 20, que relaciona os resultados obtidos com a amostra das 1003 árvores, com as restantes árvores de arruamento de Loulé.

A amostra corresponde a 40% do total das árvores de arruamento existentes na cidade, tornando assim esta extrapolação de dados bastante confiante nos resultados estimados. Foi estimado que os benefícios totais ascendem a cerca de 32 000,00€ em armazenamento de C e 5125,58€ de sequestro anual de C, 442,50€ na remoção anual de poluentes e 1 078,25€ no escoamento de água evitado anualmente. Não havendo valores monetários para a produção de oxigénio apresenta-se apenas a produção deste gás sendo que corresponde a 57,85 toneladas por ano. Por fim, o valor de substituição total do arvoredo ascende aos **2 milhões de euros**, tendo em conta todos os benefícios que este proporciona, como apresentado na tabela 20.

*Tabela 20 - Extrapolação de resultados*

Extrapolação dos resultados	Árvores amostradas (1003)		Total de árvores de arruamento em Loulé (2500)	
	Quantidade	Valor	Quantidade	Valor
Benefícios				
Armazenamento de Carbono	105,67 ton	12 800,00 €	264,17 ton	32 000,00 €
Sequestro de Carbono	8,68 ton/ano	2 050,63 €	21,70 ton/ano	5 125, 58 €
Produção de Oxigénio	23,14 ton/ano		57,85 ton/ano	
Remoção de Poluentes	184,10 kg/ano	177,00 €	460,25 kg/ano	442,50 €
Escoamento de água evitado	36,1 m3/ano	431,30 €	90,25 m3/ano	1 078,25 €
Valor de substituição do arvoredo	825 396,51 €		<b>2 063 491,28 €</b>	

O resultado desta extrapolação dos dados permitiu estimar os benefícios totais das árvores de arruamento da cidade de Loulé, correspondendo ao sequestro e armazenamento de C, à produção de O<sub>2</sub>, à remoção de poluentes e ao escoamento de água evitado.

## 5. Discussão dos Resultados

A avaliação dos serviços providenciados pelas árvores de arruamento da cidade de Loulé foi efetuada através de uma amostra de 1003 árvores, distribuídas por duas freguesias. A amostra, representando 40% da totalidade das árvores de arruamento da cidade, está distribuída pelas freguesias proporcionalmente à distribuição da totalidade de árvores pelas mesmas.

Nas árvores de arruamento são dominantes as espécies caducifólias, entre elas, as quatro que predominam na amostra são: *Celtis australis* com 239 exemplares, *Melia azedarach* com 159 exemplares, *Jacaranda mimosifolia* com 103 exemplares e *Styphnolobium japonicum* com 101 exemplares.

O *Acer negundo* e a *Albizia julibrissin* apesar de serem espécies invasoras segundo decreto-lei nº, 92/2019 de 10 de julho, são consideradas na nossa amostra por apresentarem diversos benefícios à semelhança das restantes espécies amostradas e por já integrarem o leque de árvores de arruamento existentes.

A freguesia de São Clemente apresenta a menor diversidade em espécies do arvoredo amostrado apesar da maior quantidade de espécies (23), devendo-se ao fato de haver grande dominância das espécies *Celtis australis*, *Melia azedarach* a *Jacaranda mimosifolia*, nesta freguesia.

Em geral, no arvoredo amostrado os indivíduos são jovens com DAP médio de 23,44 cm. É importante referir que quanto mais maduras forem as árvores, mais SE são providenciados, sendo vantajoso ter árvores mais desenvolvidas. Para isso é preciso promover uma melhor gestão das mesmas, de forma a atingir o seu pleno desenvolvimento.

Os SE proporcionados pelo arvoredo de arruamento da Cidade de Loulé foram avaliados a partir dos requisitos do i-Tree, revelando que o conjunto de árvores amostradas (1003) contribuem para a remoção 184,10 kg/ano de poluentes, para o sequestro de carbono em 8,68 ton/ano, para o armazenamento de carbono em 105,67 ton, produção de oxigénio em 23,14 ton/ano, escoamento de água evitado em 36,10m<sup>3</sup>/ano, sendo que, substituir estas árvores por outras semelhantes, custaria mais de 825 mil euros (825396,51€).

A partir da amostra os resultados foram extrapolados de forma a obter uma estimativa dos SE para as restantes árvores de arruamento da cidade de Loulé sendo

o total cerca de 2500 exemplares, contribuindo assim 460,25 kg/ano de remoção de poluentes, 21,70 ton/ano de sequestro de carbono, 264,17 ton de armazenamento de carbono, 57,85 ton/ano de produção de oxigénio, 109,50 m<sup>3</sup>/ano de escoamento superficial evitado e o valor de substituição da totalidade das árvores de arruamento por outras semelhantes em cerca de 2 milhões de euros. O valor substituição do arvoredo dá-nos uma boa estimativa do valor do arvoredo existente, tendo em consideração o seu porte, DAP, espécie, condições e o conjunto de todos os benefícios proporcionados pelas árvores.

Noutros estudos e com o exemplo do LX-Tree em Lisboa (Soares *et al.*, 2022), o arvoredo amostrado era superior (6928), obtendo assim uma maior estimativa total dos benefícios proporcionados pelo arvoredo amostrado, com os benefícios totais estimados em 62048,7€ e o valor de substituição em 9,8 milhões €. O valor extrapolado neste estudo foi a partir de outro software do i-Tree, o iCanopy. Nos valores extrapolados foram obtidos através da relação de proporcionalidade entre a estimativa da área de copa das árvores amostradas e a percentagem de coberto das árvores de arruamento estimadas pelo iCanopy.

No estudo “Desempenho das áreas verdes urbanas na proficiência dos serviços de ecossistema: um caso de estudo no Porto” (Graça *et al.*, 2018). Agruparam as 7 freguesias do município do Porto em 5 grupos com semelhantes condições socioeconómicas e características urbanas, sendo depois subdividido na camada verde. Resultando na divisão em 10 estratos e 255 locais para a recolha de dados. Na recolha destes dados nos locais, analisaram cerca de 863 árvores e os restantes locais usaram a fotointerpretação de 1500 pontos aleatórios utilizando o i-Tree Canopy. Comparado com este estudo e para a dimensão do município do Porto, os dados amostrados em trabalho de campo são menores, e as árvores amostradas não estão restritas apenas as de arruamento, mas a todas as árvores urbanas no município do Porto. Os resultados dos SE são superiores, sendo que os resultados estimados são extrapolados para um total de 281000 árvores.

A tabela 21, apresenta a comparação de resultados dos principais estudos efetuados em Portugal com a média dos benefícios por árvore. Dos valores obtidos nos outros estudos, em comparação com Loulé, o armazenamento de C, a remoção de poluentes e o escoamento de água evitado aproximam-se aos resultados obtidos no estudo do Porto, enquanto os valores de Loulé para o sequestro de C e produção de oxigénio aproximam-se dos de Lisboa.

No estudo do Porto o sequestro de C e a produção de oxigénio apresentam valores menores que Lisboa e Loulé devido ao facto terem sido contabilizados árvores e arbustos no estudo.

Tabela 21 - Comparação de resultados entre os principais estudos realizados em Portugal

Comparação de resultados	Porto	Lisboa	Loulé
	281000	6928	1003
Benefícios	Média/Árvore	Média/Árvore	Média/Árvore
Armazenamento de Carbono (kg)	117.94	230.95	105,67
Sequestro de Carbono (kg/ano)	5.34	9.01	8.68
Produção de Oxigénio (kg/ano)	12.28	24.02	23,14
Remoção de Poluentes (kg/ano)	0.23	0.25	0.18
Escoamento de água evitado m3/ano	0.14	1.25	0.04

O presente estudo vem ao encontro aos objetivos a Lei nº, 59/2021 do Regime Jurídico de gestão do arvoredo urbano, que define e regula as operações de poda, transplantes, abates, plantações e abrange o arvoredo urbano municipal. Este também estipula a obrigatoriedade de inventariação do arvoredo em meio urbano e a criação de um projeto de regulamento municipal de gestão do arvoredo urbano, a ser elaborado pela Câmara municipal. Um dos pontos mais importantes desta lei, é a medida de compensação em caso de abate de árvore onde refere que é obrigatória a reposição de arvoredo que garanta a duplicação de sequestro de carbono, no entanto, a duplicação de carbono é apenas possível após vários anos de crescimento da árvore quando esta atingir a maturidade ou o valor estimado de CO sequestrado pela árvore abatida. Tendo este fator em consideração, é sempre preferível evitar o abate das árvores.

Neste sentido, uma das vantagens deste trabalho é permitir calcular os SE de cada árvore, permitindo identificar valores e medidas de compensação em caso de abate, promovendo uma melhor gestão do arvoredo, uma melhor escolha de espécies com base nos benefícios que estas nos proporcionam, e dando possibilidade para a educação da população sobre o papel da árvore na cidade.

A quantificação dos serviços de ecossistema do arvoredo urbano, pode apoiar as decisões futuras, no processo de gestão e manutenção do arvoredo urbano, informar a população sobre os benefícios do arvoredo urbano de modo a dar conhecimento sobre os diversos serviços proporcionados. Esta é uma das poucas, senão única forma de evitar o abates de árvores e podas radicais em espaço urbano.

## 6. Conclusão

O arvoredo urbano apresenta diversos benefícios para a qualidade de vida nas cidades, proporciona um alargado número de serviços dos ecossistemas, sobretudo na mitigação da poluição urbana, no aumento da qualidade do ar, no efeito atenuante do escoamento superficial das águas pluviais (evitando cheias), na conservação de energia, na redução do ruído, na remoção de partículas em suspensão, e proporciona habitat para animais selvagens (aves, esquilos, etc.). O tamanho da árvore está diretamente relacionado com os SE que proporciona, quando maior for o seu porte, maior será a sua contribuição ou seja um maior metabolismo.

A análise do arvoredo urbano de Loulé foi efetuada através de uma amostra de 1003 árvores distribuídas por duas freguesias. Com o objetivo de aprofundar o conhecimento sobre os benefícios que as árvores urbanas trazem à cidade de Loulé, o presente trabalho pretendeu quantificar os serviços dos ecossistemas deste arvoredo, e avaliar a diversidade botânica presente. O estudo respondeu a algumas exigências da Lei nº, 59/2021 do Regime Jurídico de gestão do arvoredo urbano e irá ainda auxiliar como ferramenta de decisão, apoio na gestão do espaço público da cidade e servir de base à criação do projeto de regulamento municipal de gestão do arvoredo urbano.

A utilização da ferramenta i-Tree foi essencial para obter resultados concretos, comparáveis e monitorizáveis, sendo o valor de destaque os 825 396,51 € de valor de substituição do arvoredo amostrado, valor que engloba todos os benefícios que o arvoredo proporciona.

A quantificação dos serviços de ecossistema do arvoredo urbano da cidade de Loulé permitirá melhorar as decisões futuras, no processo de gestão e manutenção do arvoredo urbano. Esta é uma informação que pode ser divulgada à população, para a sensibilização sobre os benefícios do arvoredo urbano, o seu valor monetário, informando sobre valores concretos como a quantidade de oxigénio que produz e a quantidade de poluentes que remove da atmosfera todos os anos, contribuindo para uma melhoria da qualidade do ar e da qualidade de vida na cidade.

O conhecimento obtido sobre os diversos serviços proporcionados, pode justificar evitar abates e contribuir para o incentivo ao aumento da floresta urbana. Os benefícios que o arvoredo urbano proporciona são claramente superiores a qualquer constrangimento criado pelo mesmo. A árvore de arruamento é considerada um bem público, deve ser reconhecida pelo seu valor, preservada, valorizada e respeitada.

## 7. Referências bibliográficas

- Abdollahi KK., Ning ZH., Appeaning A, Eds. (2000). *Global climate change and the urban forest*. Baton Rouge. GCRCC and Franklin Press. LA. pp. 77.
- Bodnaruk, E.W. & Kroll, Charles & Yang, Y. & Hirabayashi, Satoshi & Nowak, David & Endreny, Theodore. (2017). *Where to plant urban trees? A spatially explicit methodology to explore ecosystem service tradeoffs*. *Landscape and Urban Planning*. 157. 457-467. 10.1016/j.landurbplan.2016.08.016. Burkhard, Benjamin & Kroll, Franziska & Nedkov, Stoyan & Müller, Felix, (2012), Mapping ecosystem service supply, demand and budgets, *Ecological Indicators*, 21, 10,1016/j.ecolind.2011.06.019.
- Cabral, F.C. (1980) – “O Continuum naturale e a conservação da natureza”, in *Conservação da Natureza e consagrado na Lei de Bases do Ambiente, alínea d) do nº 2 do art.º 5º (Lei 11/87 de 7 de Abril alterada pela Lei 13/2002 de 19 de Fevereiro)* .
- Cabral, F, C., e Ribeiro Telles, G. (1999). *A Árvore em Portugal*. Lisboa, Assírio & Alvim, Cullen, G, (1983). *Paisagem Urbana*, Lisboa, Edições 70.
- Calaza, Pedro & León, José & Ayuga-Téllez, Esperanza & García, A, & Eiras Carlín, Juan & Martínez, F, & García-Ventura, Claudia & Pérez, M, & Grande-Ortiz, M<sup>a</sup> & Iglesias-Díaz, M, & Ros, A, & Rego, J, & Pereira-Espinel Plata, Javier & Medina, Álvaro & Álvarez, A, & Vilar, M. (2020). *Norma Granada 2020. Método de valoración de árboles, palmeras y arbustos ornamentales*.
- Camps-Calvet M., Langemeyer J., Calvet-Mir L., Gómez-Baggethun. (2016). *Ecosystem services provided by urban gardens in Barcelona*. Spain: Insights for policy and planning. *Environ Sci Policy* 62:14–23. doi: 10.1016/j.envsci.2016.01.007.
- Comissão Europeia (2023). *Causas das alterações climáticas*. Consultado a 24 de março de 2023. Disponível em: [https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change\\_pt](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/causes-climate-change_pt).
- Cullen,G. (1983). *Paisagem Urbana*. Edições 70. 202p.
- Danielle F, Shanahan, Brenda B, Lin, Robert Bush, Kevin J, Gaston, Julie H, Dean, Elizabeth Barber, and Richard A, Fuller. (2015): *Toward Improved Public Health Outcomes*. From *Urban Nature American Journal of Public Health* 105. 470\_477. <https://doi.org/10.2105/AJPH.2014.302324>.

- Decreto-lei nº 59/2021, de 18 de agosto, Diário da República nº 160/2021 – I Série, Lisboa: Assembleia da República). Acedido a 19 jan. 2023. Disponível em <https://data.dre.pt/eli/lei/59/2021/08/18/p/dre/pt/html>.
- CAOP. (2022). *Carta Administrativa Oficial de Portugal*. Direção-Geral do Território. Consultado em 5 de janeiro de 2023. Disponível em <https://www.dgterritorio.gov.pt/cartografia/cartografia-tematica/caop>.
- Donovan GH, Butry DT, Michael YL, et al (2013). *The relationship between trees and human health: Evidence from the spread of the emerald ash borer*. Am J Prev Med 44:139–145 . doi: 10.1016/j.amepre,2012.09.066.
- Escobedo, F, J., Kroeger, T., & Wagner, J, E. (2011). *Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices*. Environmental Pollution, 159(8-9), 2078-2087.
- Guenther, A, B., Jiang, X., Heald, C, L., Sakulyanontvittaya, T., Duhl, T., Emmons, L, K., and Wang, X. (2012). *The Model of Emissions of Gases and Aerosols from Nature version 2.1 (MEGAN2.1): an extended and updated framework for modeling biogenic emissions*. Geosci, Model Dev. 5. 1471–1492, <https://doi.org/10.5194/gmd-5-1471-2012>. 2012.
- Grande-Ortiz., M<sup>a</sup> & Ayuga-Téllez., Esperanza & Contato-Carol., M,L. (2012). *Methods of Tree Appraisal: A Review of Their Features and Application Possibilities*. Arboriculture and Urban Forestry, 38. 130-140. 10.48044/jauf.2012.020.
- Graça,M (2018) - *Performance of urban green areas in ecosystem services proficiency a case study in Porto*. Porto.
- Graça, M., Alves, P., Gonçalves, J., Nowak, D, J., Hoehn, R., Farinha-Marques, P., & Cunha, M. (2018). *Assessing how green space types affect ecosystem services delivery in Port. Portugal*, Landscape and Urban Planning. 170. 195-208.
- Green Cities: Good Health, (n,d,). i-Tree. Retirado de: <https://www.itreetools.org/>.
- Grilo, F., Pinho, P., Aleixo, C., Catita, C., Silva, P, et,al. (2020). *Using green to cool the grey: Modelling the cooling effect of green spaces with a high spatial resolution*. Science of The Total Environment Volume 724, 1 July 2020, 138182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138182>
- Hilde T., Paterson R. (2014). *Integrating ecosystem services analysis into scenario planning practice: Accounting for street tree benefits with i-Tree valuation in*

*Central Texas, J Environ Manage* 146:524–534. doi:  
10.1016/j.jenvman.2014.05.039.

Ignasi de-Pouplana, Salvador Latorre, Miguel Masó, Cristina Alonso, Eva Pérez, Xavier Guinart, Isabel Hernández, Xavier Baulies, Eugenio Oñate (2023). A prototype of a micro-scale model for the distribution of NO<sub>2</sub> in urban areas, *Atmospheric Pollution Research*, 11(2), Consultado 30 de maio de 2023, Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1309104223000223>.

Justyna Likus-Cieślik, Jarosław Socha, Piotr Gruba, Marcin Pietrzykowski (2020). *The current state of environmental pollution with sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>) in Poland based on sulfur concentration in Scots pine needles*. *Environmental Pollution*. 258. 113559. Consultado 20 de abril de 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749119334608>.

Kabisch, N., & Haase, D. (2014). *Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin*. Germany. *Landscape and Urban Planning*. 122, 129-139.

Kai Chen., Susanne Breitner., Kathrin Wolf., Massimo Stafoggia., Francesco Sera., Ana M Vicedo-Cabrera., Yuming Guo., Shilu Tong., Eric Lavigne., Patricia Matus., Nicolás Valdés., Haidong Kan., Jouni J K Jaakkola., Niilo R I Rytö., Veronika Huber., Matteo Scortichini., Masahiro Hashizume., Yasushi Honda., Baltazar Nunes., Joana Madureira., Iulian Horia Holobacă., Simona Fratianni., Ho Kim., Whanhee Lee., Aurelio Tobias., Carmen Íñiguez., Bertil Forsberg., Christofer Åström., Martina S Ragetti., Yue-Liang Leon Guo., Bing-Yu Chen., Shanshan Li., Ai Milojevic., Antonella Zanobetti., Joel Schwartz., Michelle L Bell., Antonio Gasparri., Alexandra Schneider.(2021). *Ambient carbon monoxide and daily mortality: a global time-series study in 337 cities*. *The Lancet Planetary Health* 5(4). e191-e199. Consultado em 12 de abr, 2023. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542519621000267>.

Ktimpen, Anne. (2012). *A aplicação da Norma de Granada como método de avaliação das árvores de arruamento da cidade de Évora*. Universidade de Évora. Évora.

Kuo, F. E., & Sullivan, W. C. (2001). *Environment and Crime in the Inner City: Does Vegetation Reduce Crime?* *Environment and Behavior*. 33(3). 343–367. <https://doi.org/10.1177/0013916501333002>.

Kuser, John E. (2007). *Urban and Community Forestry in the Northeast* (2<sup>a</sup> ed.) New Brunswick, NJ, USA: Springer.

- Lin BJ, Kroll CN, Nowak DJ (2020). *Ecosystem Service-Based Sensitivity Analyses of i-Tree Eco*. 46:287–306. doi: 10.48044/jauf.2020.021.
- Livesley, S, J., McPherson, E, G, & Calfapietra, C. (2016). The Urban Forest and Ecosystem Services: *Impacts on Urban Water, Heat, and Pollution Cycles at the Tree, Street, and City Scale*. *Journal of Environmental Quality*, 45, 119-124. Obtido a 24 de janeiro 2023. Disponível em: <https://acess.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2134/jeq2015.11.0567>.
- Lyytimäki Jari (2017). Disservices of urban trees. In: Ferrini Francesco, Konijnendijk van den Bosch Cecil C. & Fini Alessio (Eds.). *Routledge Handbook of Urban Forestry*. Routledge London and New York. Pp. 164-176. DOI: 10.4324/9781315627106.ch12.
- Magurran Anne E. (1988). *Ecological Diversity and Its Measurement*, Springer Dordrecht doi: <https://doi.org/10.1007/978-94-015-7358-0>.
- McLean DC, Koeser A, Hilbert DR, et al (2020). Florida's Urban Forest: A Valuation of Benefits, *Edis* 2020:1–13. doi: 10.32473/edis-ep595-2020.
- Mcpherson EG, Nowak DJ, Rowntree R a (1994). Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project, *Urban Ecosyst* 201.
- McPherson, E,G., Simpson, J,R., Peper, P,J., Xiao, Q. (1999). *Tree Guidelines for San Joaquin Valley Communities, Local Government Commission, Sacramento, CA*.
- McPherson, E, G., & Simpson, J, R. (2011). *i-Tree: Tools for assessing and managing community forests*, *Arborist News*, 20(4), 16-19.
- McPherson, E, G., Xiao, Q., Aguaron, E., & Nowak, D, J. (2013), A new approach to quantify and map carbon stored, sequestered and emissions avoided by urban forests, *Landscape and Urban Planning*, 120, 70-84.
- McPherson EG, van Doorn N, de Goede J (2016) Structure, function and value of street trees in California, USA, *Urban For Urban Green* 17:104–115. doi: 10.1016/j.ufug,2016.03.013.
- Mileseeey (2023). Consultado a 3 de março de 2023. Disponível em: <https://www.mileseeeytools.com/collections/laser-measures>.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press. Washington, DC.

- Millward AA., Sabir S. (2011). *Benefits of a forested urban park: What is the value of Allan Gardens to the city of Toronto, Canada?* Landsc Urban Plan 100:177–188 .doi: 10.1016/j.landurbplan.2010.11.013.
- Moreno, Cláudia. (2001). *Métodos para medir la biodiversidade*. Disponível em: <http://entomologia.rediris.es/sea/manytes/metodos.pdf>.
- Mullaney J., Lucke T., Trueman SJ. (2015). *A review of benefits and challenges in growing street trees in paved urban environments*. Landsc Urban Plan 134:157–166 . doi: 10.1016/j.landurbplan.2014.10.013.
- Nações Unidas (2023). *Paz, dignidade e igualdade em um planeta saudável - Causas e Efeitos das Mudanças Climáticas*. Consultado a 10 de julho de 2023. Disponível em: <https://www.un.org/pt/climatechange/science/causes-effects-climate-change>.
- Nowak, D,J., Crane, D,E. (2000). *The Urban Forest Effects (UFORE) Model: quantifying urban forest structure and functions*, In: Hansen, M,; Burk, T,, eds, *Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century*, Proceedings of IUFRO conference, Gen, Tech, Rep, NC-212, St, Paul, MN: U,S, Department of Agriculture, Forest Service, North Central Research Station: 714-720.
- Nowak, D,J., Dwyer, J,F. (2000). *Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems*, In: Kuser, John, ed, *Handbook of urban and community forestry in the northeast*, New York, NY: Kluwer Academics/Plenum: 11-22.
- Nowak DJ., Crane DE., Dwyer JF. (2002). *Compensatory value of urban trees in the United States*. J Arboric 28:194–199.
- Nowak, D, J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E., (2014). *Tree and forest effects on air quality and human health in the United States*. Environmental Pollution, 193, 119-129.
- Nowak, D, J., & Greenfield, E, J. (2018). *Evaluating urban forest effects and values: i-Tree tools to support planning and management*. In Urban Forestry (pp, 109-124), Springer, Cham.
- Nowak, D, J. (2021). *Understanding i-Tree: 2021*. Summary of Programs and Methods, U.S Department of agriculture, Forest Service. Consultado a 08 de julho de 2023, Disponível em [https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr\\_nrs200-2021.pdf](https://www.fs.usda.gov/nrs/pubs/gtr/gtr_nrs200-2021.pdf).

Nunes, L., Dias, S., Duarte, I., Soares, A.L., Rego, F. (2021). *Árvores na Linha: Estudos de Quantificação dos serviços de ecossistema e gestão do arvoredo urbano de Cascais*. ISA/CMC.

Oliveira, Paulo. (2018). *Considerações Sobre o Clima do Algarve*. Direção Regional de Agricultura e Pescas do Algarve. Consultado a 16 de abril de 2023. Disponível em <http://www.drapalg.min-agricultura.pt/ema/images/artigos/DRAPALG%20EMAs%20-%20clima%20no%20Algarve.pdf> .

Pandit R., Polyakov M., Sadler R. (2012). *The importance of tree cover and neighbourhood parks in determining urban property values*. In: 56th AARES annual conference. Fremantle, Western Australia.

Pastorinho, Maria. (2013). *As Árvores de Arruamento-Um Estudo para a Cidade de Évora Relatório de Estágio*. Universidade de Évora, Évora.

Rego, Francisco & Bunting, Stephen & Strand, Eva & Godinho-Ferreira, Paulo, (2019). *Applied Landscape Ecology*.

Riondato, Emily. (2020). *Investigating the effect of trees on urban quality in Dublin by combining air monitoring with i-Tree Eco model, Sustainable Cities and Society*. ISSN 2210-6707, 61:2020) 102356, doi: 10.1016/J.SCS.2020.102356.

Roy S., Byrne J., Pickering C. (2012). *A systematic quantitative review of urban tree benefits, costs, and assessment methods across cities in different climatic zones*. Urban For Urban Green 11:351–363 , doi: 10,1016/j,ufug,2012,06,006.

Safford, H., Larry, E., McPherson, E.G., Nowak, D.J., Westphal, L.M. (2013). *Urban Forests and Climate Change*. U.S, Department of Agriculture. Forest Service. Climate Change Resource Center, [www.fs.usda.gov/ccrc/topics/urban-forests](http://www.fs.usda.gov/ccrc/topics/urban-forests).

Samsung (2023). Consultado a 3 de março de 2023. Disponível em: <https://www.samsung.com/pt/tablets>.

Selmi W., Weber C., Rivière E. (2016). *Air pollution removal by trees in public green spaces in Strasbourg city, France*. Urban For Urban Green 17:192–201 . doi: 10.1016/j.ufug.2016.04.010.

- Shanahan, D. F., Lin, B. B., Bush, R., Gaston, K. J., Dean, J. H., Barber, E., & Fuller, R. A. (2015). *Toward improved public health outcomes from urban nature*. *American Journal of Public Health*, 105(3), 470-477.
- Shashua-Bar, Limor & Potchter, Oded & Bitan, Arie & Boltansky, Dalia & Yaakov, Yaron. (2009). Microclimate modelling of street tree species effects within the varied urban morphology in the Mediterranean city of Tel Aviv, Israel. *International Journal of Climatology*. 30. 44 - 57. 10.1002/joc.1869.
- Soares AL., Rego FC., McPherson EG. (2011). *Benefits and costs of street trees in Lisbon*. Portugal, *Urban For Urban Green* 10:69–78 , doi: 10.1016/j.ufug.2010.12.001.
- Soares, A.L., Nunes, L., Duarte, I.M., Gaião, D., Rego, F.C., Dias, S. (2022). *Serviços dos ecossistemas das árvores de arruamento da cidade de Lisboa*. Relatório técnico, Centro de Ecologia Aplicada “Prof. Baeta Neves” (CEABN-InBIO) Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa (ULisboa), Lisboa, pp: 121,.
- Stanley (2023). Consultado a 3 de março de 2023. Disponível em: <https://www.stanleyworks.pt/>.
- Tarran J (2009). *People and Trees: Providing Benefits, Overcoming Impediments*. 10th Natl Str Tree Symp 2009 63–82.
- United Nations Environment Programme (2011). *Ecosystem Services: A Guide for Decision Makers*. UNEP.
- United States *Environmental Protection Agency (EPA)*. "Ozone Pollution". Consultado janeiro 10, 2023. Disponível em: <https://www.epa.gov/ground-level-ozone-pollution>.
- United States Forest Service, (2019). *i-Tree: Tools for assessing and managing urban forests*. Disponível em: <https://www.fs.usda.gov/nac/practices/urban-forestry-tools/i-tree>.
- European Environment Agency. (2022). *Health impacts of air pollution in Europe*. Consultado em 11 de junho de 2023. Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>.
- USDA Forest Service (2020). *i-Tree Eco User's Manual* 7.15.2020.

- van Dillen, S. M. E., de Vries, S., Groenewegen, P. P., & Spreeuwenberg, P. (2012). *Greenspace in urban neighbourhoods and residents health: adding quality to quantity*. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 66(6), e8.
- Watson, Gary. (2002). *Comparing Formula Methods of Tree Appraisal*. *Journal of Arboriculture*. 28. 11-18. 10.48044/jauf.2002.002.
- World Health Organization. (2006). *WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide: Global update 2005: Summary of risk assessment*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/7493>.
- World Health Organization (2021). *Review of Evidence on Health Aspects of Air Pollution: REVIHAAP Project: Technical Report* (No, WHO/EURO: 2013-2663-42419-58845). World Health Organization, Regional Office for Europe.
- Yao Y., Wang Y., Ni Z., Chen S., Xia B. (2022). *Improving air quality in Guangzhou with green infrastructure planning: An i-Tree Eco model study*. *Journal of Cleaner Production*, 0959-6526.
- Zhang, Y., Wu, L., Zou, C. (2017). *Development and Application of Urban High Temporal-Spatial Resolution Vehicle Emission Inventory Model and Decision Support System*, *Environ Model Assess* 22, 445–458 . Consultado a 20 de abril de 2023. Disponível em <https://doi.org/10.1007/s10666-017-9551-9>.

## **ANEXO I**

**Relação entre altura e DAP das espécies mais representativas do arvoredo urbano em Loulé**

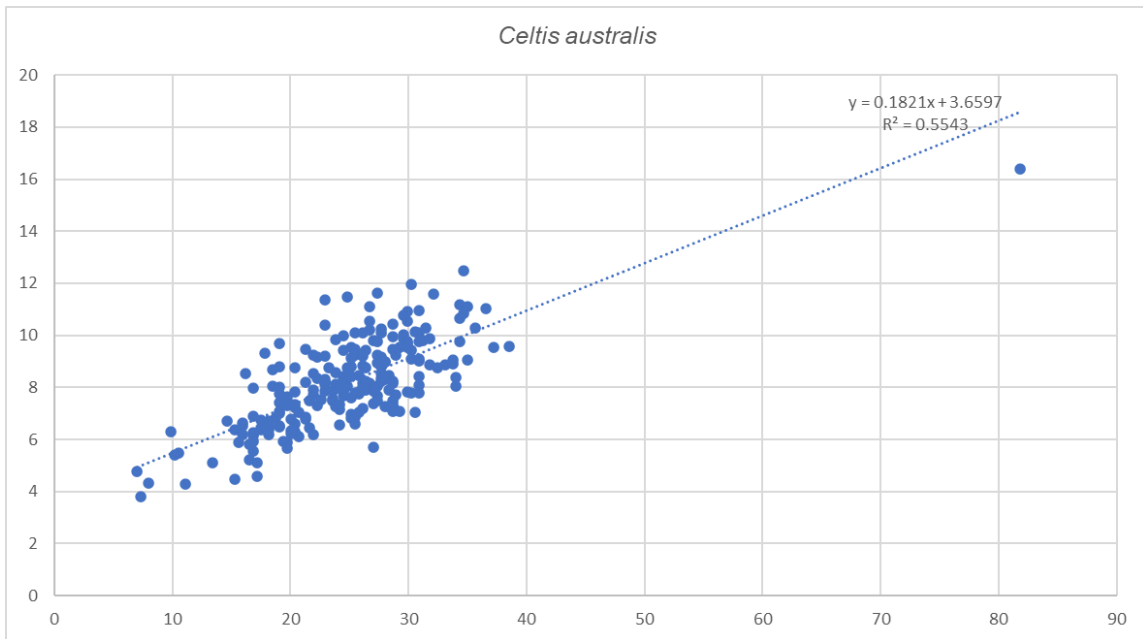


Figura 19 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal), para a espécie *Celtis australis*

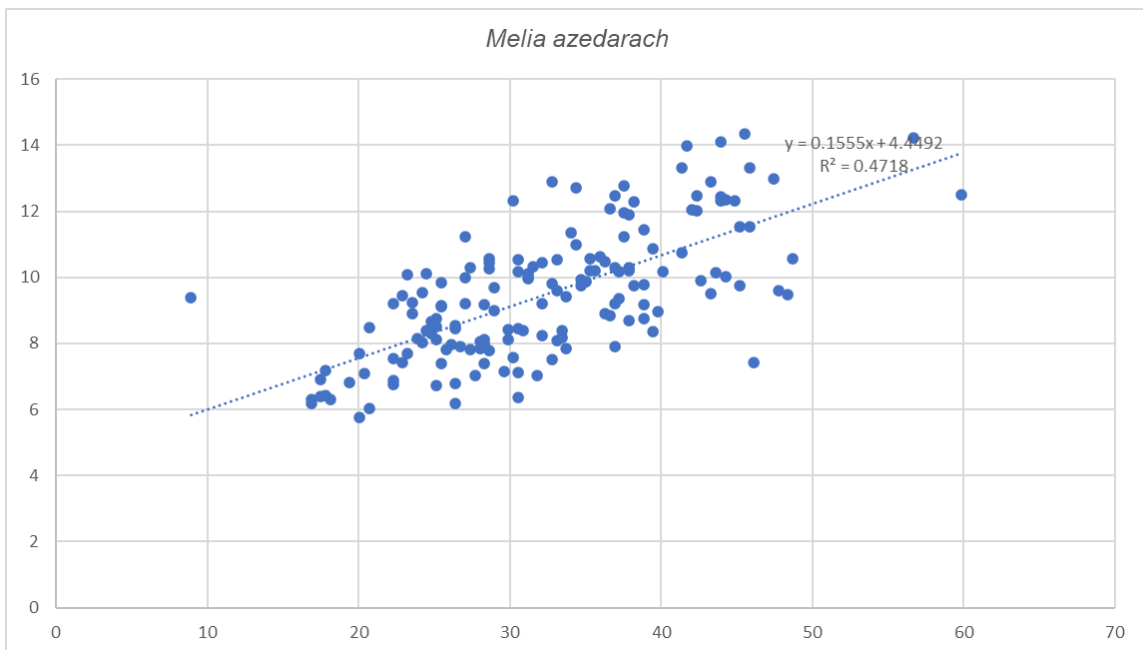


Figura 20 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal) para a espécie *Melia azedarach*

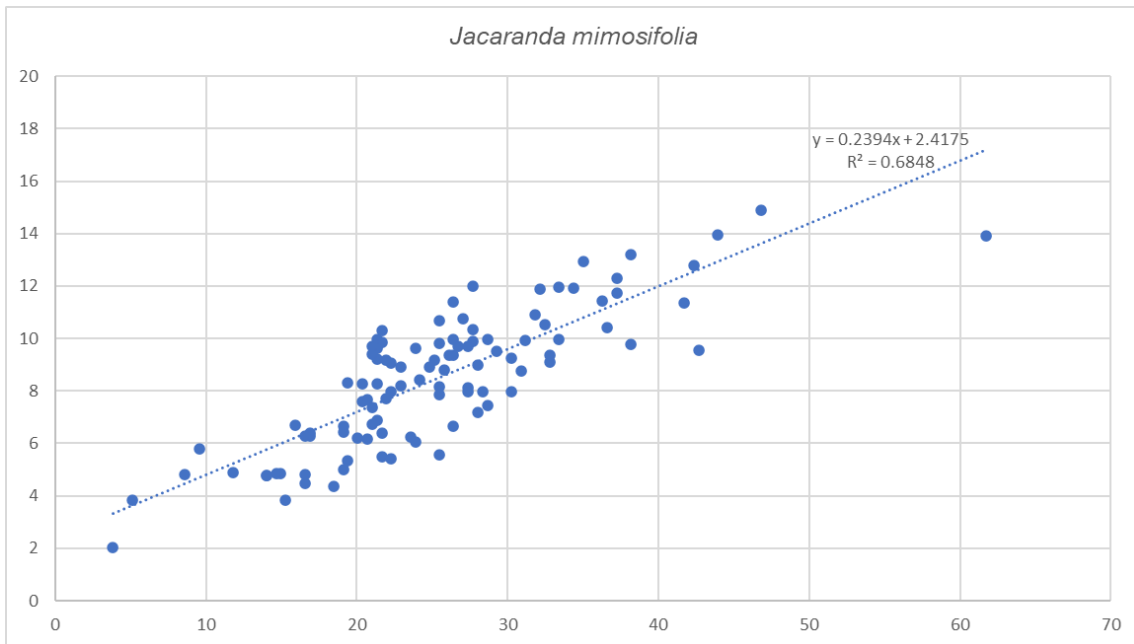


Figura 21 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal), para a espécie *Jacaranda mimosifolia*

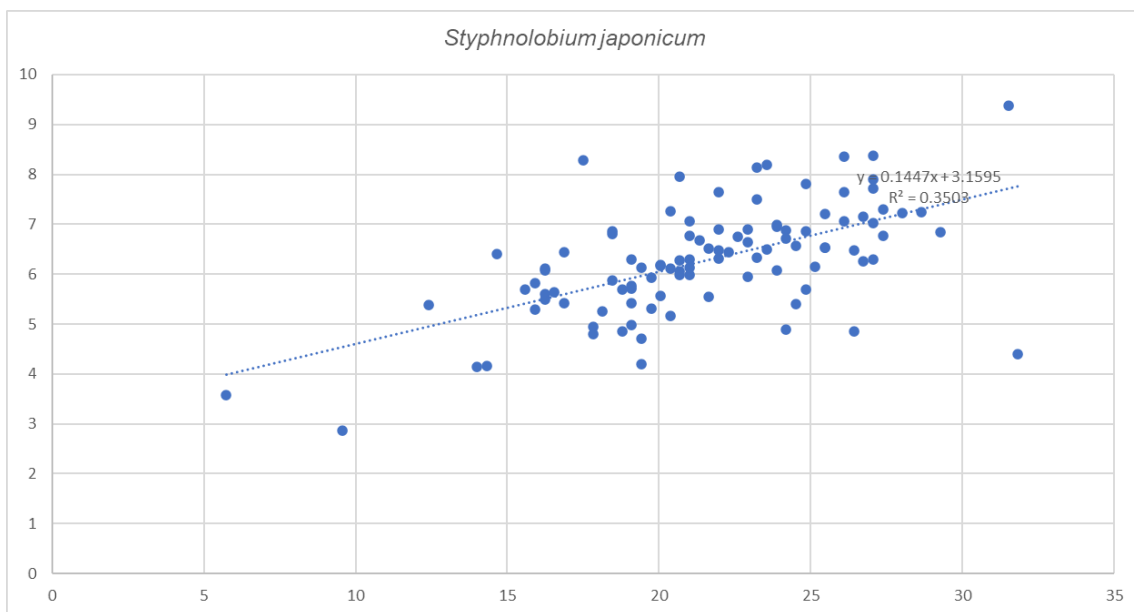


Figura 22 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal), para a espécie *Styphnolobium japonicum*

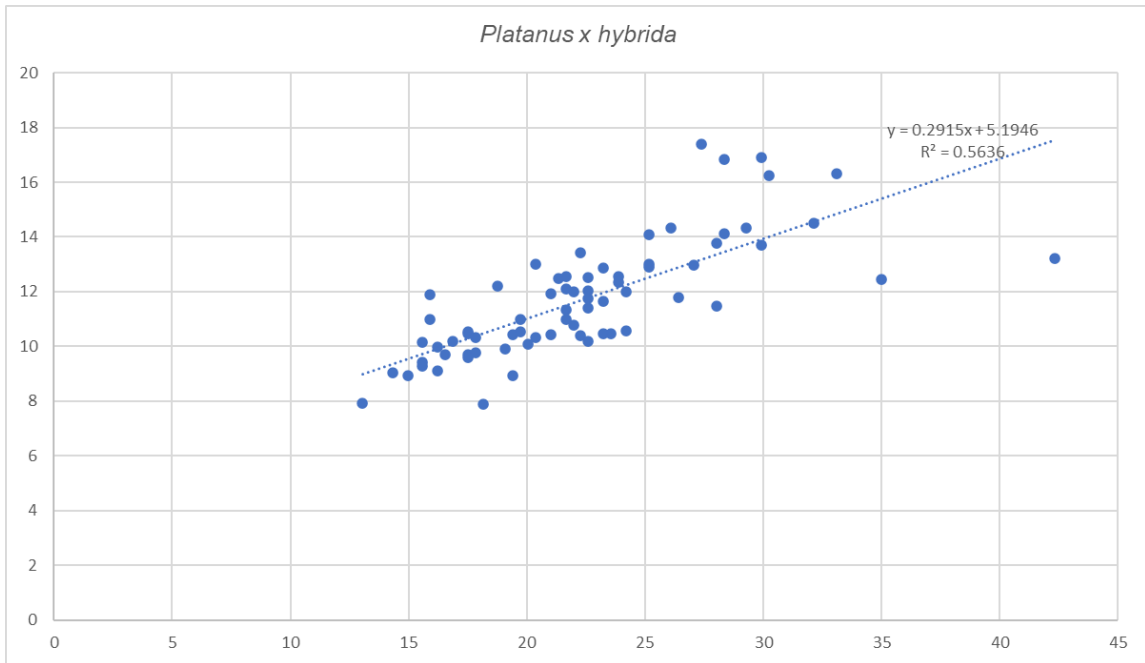


Figura 23 - Relação Altura (Vertical) e DAP (Horizontal), para a espécie *Platanus x hybrida*

**ANEXO II**  
**Metadados**

## METADADOS

Os metadados utilizados nesta dissertação foram retirados do estudo LX-Tree serviços do ecossistema urbano de Lisboa de Soares et al., (2022).

### 1. ESPÉCIE:

Se não for possível identificar a espécie, recolher e numerar uma amostra (pequeno herbário) num bloco de notas (e.g. Amostra#xxx desconhecida#1). Cada vez que a mesma espécie desconhecida for encontrada deve ser identificada com o mesmo número. Se não for possível de todo identificar a espécie, recolher pelo menos o género.

### 2. LAND USE / Usos do solo atuais:

As categorias possíveis são as seguintes:

**1. Residencial (R):** habitações unifamiliares servindo uma a 4 famílias cada (*vivendas*);

**2. Multifamiliar Residencial (M):** habitações contendo mais do que 4 unidades familiares;

(Nota: um bloco de habitações ligadas para 1-4 famílias é considerado Multifamiliar Residencial; um complexo residencial constituído por muitas estruturas construídas para 1-4 famílias e espaço verde comum também é considerado Multifamiliar Residencial) (*blocos de apartamentos e.g. bairros tipo dormitório*).

**3. Comercial/Industrial (C):** Para além de uso do solo claramente comercial e industrial, esta categoria inclui áreas exteriores para armazenamento e parques de estacionamento nas áreas do centro urbano que não estão relacionadas com um uso institucional ou residencial (*zonas industriais ou centros comerciais e.g. estacionamento do Fonte Nova*);

**4. Parques (P):** inclui áreas com e sem manutenção;

**5. Cemitério (E):** inclui todas as áreas sem manutenção dentro da área do cemitério;

**6. Campo de Golfe (G);**

**7. Agricultura (A):** inclui lavouras, pomares, pastagens, vinhas, viveiros, quintas de produção e edifícios conexos, culturas e/ou plantações que mostrem evidência de atividade agrícola ativa;

**8. Desocupado / Vacant (V):** inclui locais sem uso claro. As estruturas e edifícios abandonados devem ser classificados de acordo com o seu uso intencionado original.

**9. Institucional (I):** Escolas, hospitais, complexos de saúde, colégios, edifícios religiosos, edifícios governamentais, ...;

Nota: se um local contém amplas áreas sem manutenção, possivelmente para expansão ou outras razões, deverá considerar-se. Desocupada (V). Porém, pequenas ilhas de floresta numa paisagem mantida devem considerar-se na categoria Institucional (I);

**10. Infraestruturas / Utility (U):** inclui infraestruturas elétricas, infraestruturas de tratamento de esgotos, reservatórios cobertos ou descobertos, bacias de retenção e

canais de controlo de cheias, condutas (e.g. Mãe de água e reservatório nas Amoreiras, Praça de Espanha);

**11. Água / zonas húmidas (W):** ribeiros, rios, lagos e outros corpos de água (naturais ou construídos). Piscinas de pequena dimensão e fontes devem ser classificadas de acordo com o uso do solo adjacente (*árvores em linhas de água*);

**12. Transporte (T):** inclui estradas de acesso limitado e espaços verdes associados (como autoestradas com rampas de aceleração e saída), estações de caminhos-de-ferro, estaleiros, aeroportos,... Se o local incluir outro tipo de estrada, ou faixa central associada, classificar de acordo com o uso do solo adjacente mais próximo (e.g. *zona junto ao metro de superfície de Almada*);

**13. Outros (O):** Usos do solo que não podem ser incluídos em nenhuma das categorias anteriores. Como este uso do solo não fornece mais informação ao modelo, deve ser utilizado o mínimo possível, e sempre clarificando o porquê da seleção nas notas na ficha de inventário.

NOTA: Para edifícios de uso misto, o uso do solo é baseado no uso dominante, isto é, o uso que gera a maioria do trânsito pedestre. Este uso dominante pode nem sempre ocupar a maior parte do espaço no edifício. Por exemplo, um edifício com uso comercial no R/c e apartamentos nos andares superiores deverá ser classificado como Comercial /Industrial (e.g. *Av de Roma, Alvalade*).

### 3. ESTADO

Escolher umas das seguintes categorias:

P - Plantada

I - Espontânea

U – Desconhecido (evitar ao máximo selecionar esta última categoria porque não fornece informação ao modelo)

### 4. DIÂMETRO

**Largura da copa (m):** medida da copa em duas direções, Norte-Sul e Este-Oeste ou de acordo com constrangimentos de segurança e acessibilidade. Se a árvore estiver caída ou inclinada, medir a largura da copa perpendicularmente ao tronco da árvore.

**Diâmetro à altura do peito (DAP cm):** mede-se em cm, com exatidão ao nível 0,1 cm. As fitas de campo medem o PAP, que tem de ser convertido para DAP ( $\pi = 3,14159$ ):

$$DAP = \frac{PAP}{\pi}$$

Situações particulares na medição do DBH:

1. **Árvores multicaule:** se o ponto de separação das hastes está acima do solo, a planta é considerada uma só árvore, e dever-se-ão medir os DBH de até 6 hastes; se a árvore tiver mais de 6 hastes, reduzir a altura de medição para 30,48 cm (1 pé) acima do solo, e registrar o DAP para as seis hastes com maior diâmetro. Se o ponto de separação das hastes estiver abaixo do solo, cada haste é considerada uma árvore independente;
2. **Rebentos / toíça:** todos os rebentos com DHB  $\geq 2,54$  cm devem ser medidos como árvores independentes. Os rebentos com DHB inferior podem ser ignorados;
3. **Árvores com alargamento no colo:** medir estas árvores a 45,7 cm acima do fim do alargamento se este se estender por mais de 91,4 cm acima do solo;
4. **Árvores com irregularidades no DAP:** nas árvores com inchaços, depressões, ramos, etc..., o diâmetro será medido imediatamente acima da irregularidade, onde a irregularidade já não afeta a forma normal do tronco;
5. **Árvores em declive:** mede-se a 1,3 m do chão, ao longo do tronco, no lado de cima da árvore (ou seja, na parte mais elevada);
6. **Árvores inclinadas:** mede-se o DBH a 1,3 m no lado do tronco que está virado para baixo;
7. **Árvore viva derrubada pelo vento:** mede-se 1,3 m a partir do topo do colo da árvore;

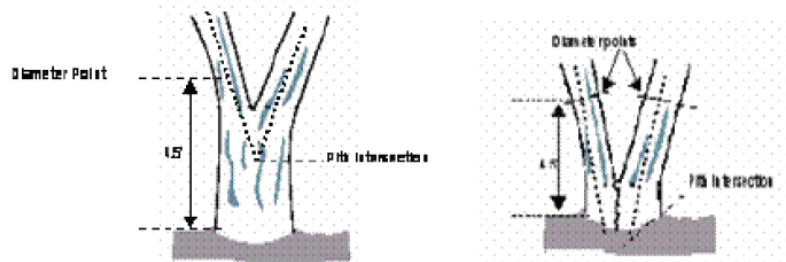


Figura 1: Medição do DAP em árvores bifurcadas (multicaule).

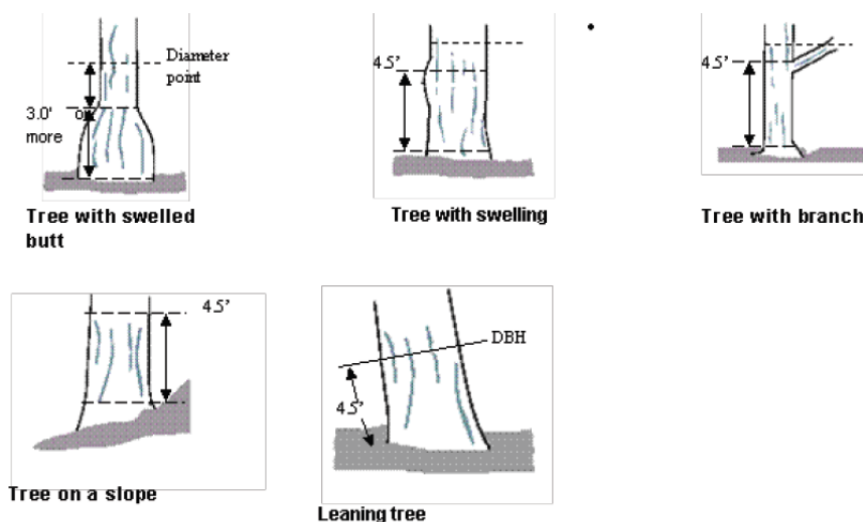


Figura 2: Medição de DAP em árvores com irregularidades.

## 8. ALTURAS

**Altura total da árvore (m):** medição da altura total da árvore até ao seu topo (vivo ou morto). Para árvores mortas em pé e árvores vivas muito inclinadas, a altura é considerada a distância ao longo da haste principal, desde o chão até ao topo (não são incluídas árvores mortas no chão);

**Altura ao topo vivo (m):** esta altura corresponderá à altura total da árvore, exceto nos casos em que a árvore está viva mas o topo da copa está morto.

**Altura até à base da copa viva (m):** a base da copa corresponde ao ponto do tronco principal que é perpendicular à folhagem mais baixa do ramo mais baixo na copa viva. Ou seja, o ponto é determinado pela folhagem viva e não pelo ponto de intersecção do último ramo com o tronco. Logo, se a folhagem tocar no chão, a altura até à base da copa viva será zero.

**% da copa em falta:** corresponde à percentagem do volume da copa que não está ocupado por ramos e folhas. Este parâmetro deve ser medido por duas pessoas em pé, em ângulos perpendiculares à árvore. Para obter esta medição, deve imaginar-se o contorno típico da copa como uma silhueta definida pela largura da copa viva, altura total, e altura até à base da copa viva, simétrica à volta do ponto central da largura medida da copa, e preenchida com folhas como se fosse uma árvore saudável em excelentes condições. A partir desta imagem, é mais fácil estimar a percentagem da folhagem que está ausente devido a podas, partes mortas, queda de folhas, copa desigual, ou folhas escassas e pequenas. Não se devem incluir no volume em falta os vazios existentes devido à sombra das folhas. Deve considerar-se a forma natural da espécie particular em análise.

Registar os valores de copa em falta (0 ou 100%, ou como pontos médios de intervalos de 5%: 3, 8, 13, 18, etc...).

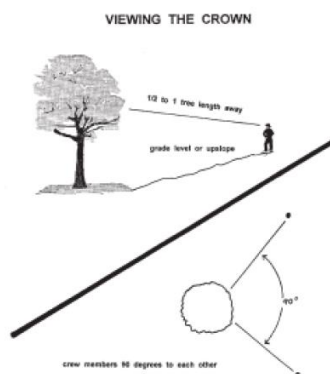
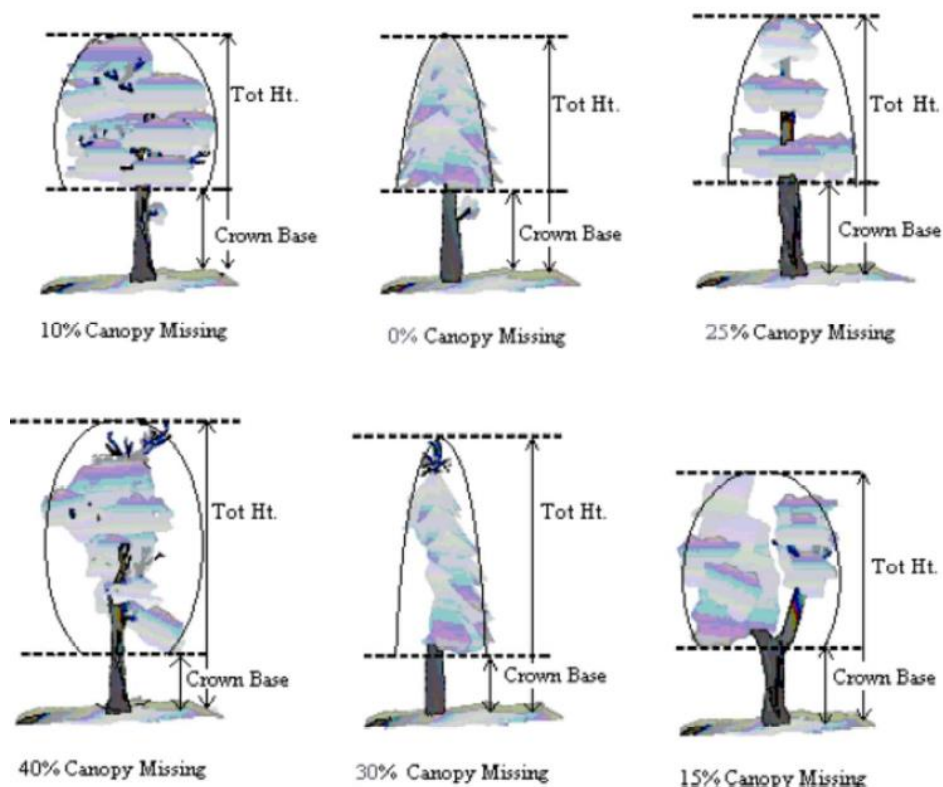


Figura 3: Posicionamento do(s) observadores para medição da copa.



: Exemplos de medição da altura até à base da copa viva e da percentagem da copa em falta.

**Mortalidade na copa (% saúde da copa):** corresponde à percentagem de mortalidade na copa, mas não inclui a morte natural e normal de ramos (devido à competição na copa ou ao sombreamento na parte mais baixa da copa). Porém, a morte de ramos nos lados e no topo da copa devido ao sombreamento de edifícios ou outra árvore deve ser considerada;

Mede-se como uma percentagem da área viva da copa, incluindo a área onde há mortalidade. Assume-se o perímetro da copa como um contorno a duas dimensões desde a ponta de um ramo à outra, mas excluindo grandes buracos ou intervalos na copa, bem como ramos salientes. A medição deve ser obtida por duas pessoas, utilizando binóculos, em boas condições de luminosidade.

Registar os valores (0 ou 100%, ou pontos médios de intervalos de 5%: 3, 8, 13, 18, etc...);

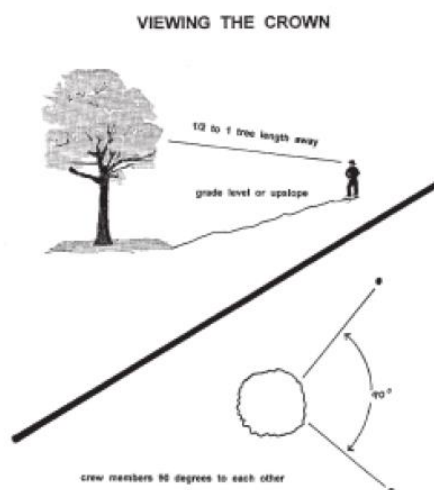


Figura 3: Posicionamento do(s) observadores para medição da copa.

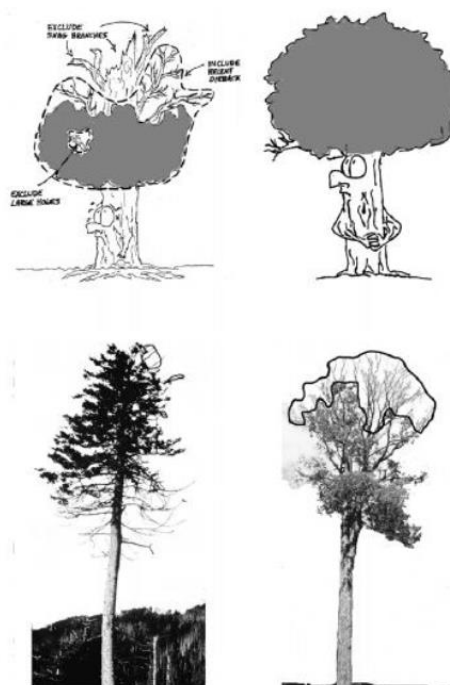


Figura 4: Exemplos de medição da mortalidade na copa.

**%IMPER sob copa:** percentagem de superfície impermeável debaixo da árvore. Registrar os valores (0 ou 100%, ou pontos médios de intervalos de 5%: 3, 8, 13, 18, etc...);

**% Arbustos sob copa:** percentagem de coberto arbustivo debaixo da árvore. Registrar os valores (0 ou 100%, ou pontos médios de intervalos de 5%: 3, 8, 13, 18, etc...); Importante: não fazer contagem dupla quando há várias camadas de arbustos. Nota: Para aplicação do i-Tree ECO os arbustos são definidos como material lenhoso com DBH < 2,54 cm; as árvores possuem DBH ≥ 2,54. As plantas lenhosas com menos de 30,5 cm de altura são consideradas coberto herbáceo.

### 1. CLE (Exposição da copa à luz)

Número de lados da árvore que recebem luz do sol direta (máximo de 5 lados – o topo da árvore conta com 1 lado). Para obter-se a medição, divide-se a copa da árvore verticalmente em 4 lados iguais, e conta-se o número de lados que receberia luz direta se o sol estivesse mesmo por cima da árvore. Um terço da copa viva tem de receber luz direta para o respetivo lado se qualificar para contabilização. Códigos a utilizar:

-1: árvores mortas;

0: A árvore não recebe luz total porque está à sombra de outras árvores, videiras ou outro tipo de vegetação;

1: A árvore recebe luz total no topo ou apenas num dos lados;

2: A árvore recebe luz total no topo e num lado (ou em dois lados, e não no topo);

3: A árvore recebe luz total no topo e em dois lados (ou em três lados, e não no topo);

4: A árvore recebe luz total no topo e em 3 lados;

5: A árvore recebe luz total no topo e em 4 lados.

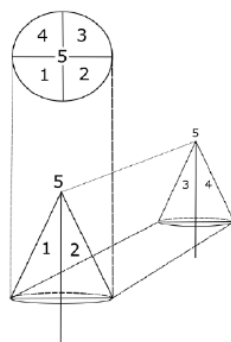
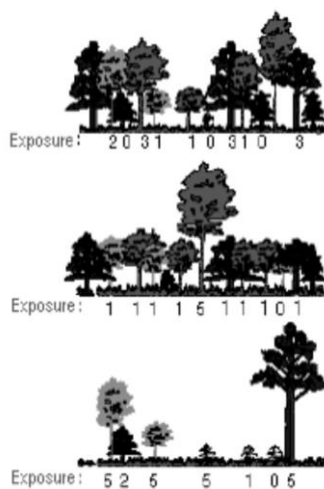


Ilustração esquemática dos 5 lados da árvore (4 lados e topo).



Exemplos de medição da exposição da copa à luz.

## 2. Árvores próximas de edifícios

As medições de variáveis referentes a este parâmetro destinam-se ao cálculo dos efeitos das árvores na energia.

### Variáveis a medir:

3. **BLDG DIR** (Direção em relação ao edifício): Para árvores com mais de 6,10 m localizadas a menos de 18,28 m de edifícios residenciais com 3 pisos ou menos, registar a direção (azimute em graus) da árvore à parte mais próxima do edifício. Para habitações multifamiliares, tratar todas as unidades de um edifício como uma só. Recolhe-se informação referente até 3 edifícios, e preenchem-se os campos **BLDG\_DIR1, BLDG\_DIR2, BLDG\_DIR3**
4. **BLDG DIST** (Distância mais curta até ao edifício): para os edifícios considerados na variável anterior, medir a distância mais curta da árvore até à parte mais próxima do edifício. Árvores mortas que cumpram as condições anteriores devem ser consideradas. Registar a informação nos campos **BLDG\_DIST1, BLDG\_DIST2, BLDG\_DIST3**