

**Avaliação dos Benefícios Ambientais de Soluções  
Baseadas na Natureza com o software i-Tree – O caso da  
Zona Industrial de Bragança - Portugal**

Fernanda Albertini Pança

*Dissertação apresentada à Escola Superior Agrária de Bragança para obtenção  
do Grau de Mestre em Tecnologia Ambiental no âmbito da dupla diplomação  
com a Universidade Tecnológica Federal do Paraná-campus Francisco Beltrão*

Orientada por:

**Professor Doutor Artur de Jesus Gonçalves**

**Professor Doutor José Castro**

**Professor Doutor Marcelo Bortoli**

Bragança

2021



**Avaliação dos Benefícios Ambientais das Soluções  
Baseadas na Natureza – O caso da Zona Industrial de  
Cantarias – Portugal**

Fernanda Albertini Pança

Orientada por

Professor Doutor Artur de Jesus Gonçalves (IPB)

Professor Doutor José Castro (IPB)

Professor Doutor Marcelo Bortoli (UTFPR/Francisco Beltrão)

Bragança

2021

## **Dedicatória**

Dedico este trabalho em memória de Valdemar Pança, meu anjinho do céu, que não pode presenciar esta conquista fisicamente, saudade vô!

## AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, pela honra de viver, e a todos que torceram positivamente por mim nesse período e estiveram ao meu lado de alguma forma, sou muito grata.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. **Artur Jorge de Jesus Gonçalves**, que mesmo com tantos compromissos, sempre se dispôs a marcar reuniões, me orientar, sanar dúvidas e me compreender, encorajando-me, assim como o meu grande amigo **Felipe Macedo Alves**, que não só me auxiliou com as coletas e tratamento dos dados mas também emocionalmente e psicologicamente, me lembrando sempre da minha capacidade. Aos meus coorientadores Prof. Dr. **José Castro** e Prof. Dr. **Marcelo Bortoli**, que me ofereceram todo o suporte. Ao programa de Dupla Diplomação da Universidade Tecnológica Federal Campus Francisco Beltrão junto ao Instituto Politécnico de Bragança, que tornaram este sonho realizável e proporcionaram todo o auxílio necessário para que eu chegasse até aqui, assim como o Prof. Dr. **Wagner de Aguiar** e a Profa. Dra. **Denise Andreia Szymczak** que me prestaram apoio desde a abertura do edital da Dupla Diplomação.

Agradeço à minha família, à minha mãe e eterna melhor amiga **Tereza Cristina Albertini**, que sempre fez todo o possível e impossível por mim, abraçando todas as situações da minha vida e por todo o seu amor, carinho, cuidado e preocupação comigo, ao meu pai e herói **Luís Fernando Pança**, que sempre se esforçou para que nada me faltasse, e por todo o seu amor, carinho, cuidado e preocupação, ao meu irmão e confidente **Felipe Albertini Pança**, que sempre se esforçou para me ajudar e me apoiou, e por todo o seu amor, carinho, cuidado e preocupação. Eles são os motivos de eu sonhar alto, lutar pelo o que eu quero e nunca desistir, o que há de mais importante para mim, serei eternamente grata por sempre terem investido em minha educação, por me tornarem a pessoa honesta que sou hoje e por acreditarem em mim. Agradeço também ao meu padrasto **Mauro Nacano**, que muito me auxiliou para vir para cá, obrigada pelo carinho.

Quero agradecer ao **Arthur Manfroi Nacke**, que esteve ao meu lado mesmo nos momentos mais difíceis, desde a candidatura ao edital, e a **Sonia Manfroi Nacke**, que foi uma mãe para mim durante toda a minha graduação na UTFPR. Assim como a **Eli Schuastz**, por ter-me acolhido em sua casa durante o

meu estágio no Brasil, e à **Andressa Buck**, por ter sido uma amiga além de madrinha de estágio.

Às minhas amigas **Laís Fabiana Serafini** e **Alice Beatriz Patekoski Santos Neto**, que sempre me auxiliaram, estiveram ao meu lado e torcem pelo meu sucesso e felicidade. Aos meus amigos **Matheus Zorawski Silva** e **João Filipe Fernandes Ascensão**, que eu tive o privilégio de conhecer aqui, e à minha amiga, a qual considero irmã, **Glicia Cardodo Guedes**, que sempre me abraçou mesmo de longe e nunca soltou a minha mão.

Meu sincero obrigado às minhas primas **Luisa Albertini** e **Thais Tondato Albertini**, que durante toda a vida foram minhas irmãs, sei que estarão sempre comigo, e aos meus avós **Idonaldo Étore Albertini**, **Herminia Adelaide de Freitas Albertini** e **Neide Cavazzane Pança**, meus pontos de conchego, obrigada por tudo, amo-vos.

A todos os meus familiares e amigos que sabem que são importantes para mim, gratidão.

*“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo”.*

*Albert Einstein*

## RESUMO

A urbanização provoca grandes mudanças nos sistemas ambientais, relacionadas ao balanço de carbono, interceptação da água da chuva, poluição do ar e economia de energia de edifícios, como consequência das mudanças no ambiente natural. Além disso, as zonas industriais acabam por ser menos arborizadas devido às construções dos empreendimentos, que frequentemente representam vastas áreas urbanas, muitas vezes negligenciadas. Portanto, é necessário definir projetos que possam promover a transformação urbana, tornando as cidades mais agradáveis aos seus cidadãos. As Soluções Baseadas na Natureza (SBNs) buscam mitigar os efeitos antrópicos da urbanização por meio de inspiração na natureza. Assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar a área de estudo e sua vegetação, construir uma base de dados de entrada no software i-Tree, simular os benefícios ambientais das SBNs (previstas no âmbito do Projeto POCTEP INDNATUR), na Zona Industrial das Cantarias (Bragança), com o software i-Tree e definir cenários com base nos dados de intervenção do projeto e em formulações alternativas. A metodologia começa com o levantamento de dados e medição de parâmetros das árvores, incluindo diâmetro na altura do peito, alturas totais, uso do solo, avaliação da saúde da copa (dieback, percentagem da copa que é composta de galhos mortos) e exposição à luz da copa. A ferramenta i-Tree foi utilizada para a simulação dos benefícios ambientais das SBNs, como meio de apoiar o Projeto POCTEP INDNATUR. O i-Tree Eco é uma ferramenta emblemática que quantificou os efeitos e valores da floresta urbana, tais como: características das árvores, remoção da poluição do ar, armazenameno e sequestro de carbono, produção de oxigénio, escoamento evitado, valores estruturais e funcionais e potenciais impactes de pragas, auxiliando assim no manejo e defesa de árvores e florestas, mostrando os riscos potenciais para a saúde das árvores e baseando-se em pesquisa de serviços florestais do USDA (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos).

**Palavras-chave:** I-Tree Eco; Meio ambiente; SBNs.

## ABSTRACT

Urbanization causes major changes in environmental systems, related to carbon balance, interception of rainwater, air pollution and energy savings of buildings, as a consequence of changes in the natural environment. In addition, industrial areas end up being less wooded due to the construction of developments, which often represent vast urban areas, often neglected. Therefore, it is necessary to define projects that can promote urban transformation, making cities more pleasant for their citizens. Nature-Based Solutions (NBSs) seek to mitigate the man-made effects of urbanization through inspiration from nature. Thus, this work aimed to characterize the study area and its vegetation, build an input database in the i-Tree software, simulate the environmental benefits of NBSs (provided for under the POCTEP INDNATUR Project), in the Industrial Zone of Cantarias (Bragança), with i-Tree software and define scenarios based on project intervention data and alternative formulations. The methodology begins with data collection and measurement of tree parameters, including diameter at breast height, total heights, land use, assessment of crown health (dieback, percentage of crown that is composed of dead branches) and exposure to cup light. The i-Tree tool was used to simulate the environmental benefits of NBSs, as a means of supporting the POCTEP INDNATUR Project. The i-Tree Eco is an emblematic tool that quantified the effects and values of the urban forest, such as: tree characteristics, removal of air pollution, carbon storage and sequestration, oxygen production, avoided runoff, structural and functional values and potential impacts of pests, thus assisting in the management and defense of trees and forests, showing the potential risks to the health of trees and based on research by USDA (United States Department of Agriculture) forest services.

**Keywords:** I-Tree Eco; Environment; NBSs.

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE TABELAS</b> .....	<b>X</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2 AVALIAÇÃO E MODULAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA EM ZONAS INDUSTRIAIS</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1 SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA</b> .....	<b>4</b>
2.1.1 Valor ambiental e social .....	5
2.1.2 Valor económico .....	5
2.1.3 Potenciais benefícios ambientais das árvores como ferramenta de intervenção no meio urbano.....	6
<i>2.1.3.1 A relação do ciclo do carbono com a vegetação</i> .....	<i>6</i>
<b>2.2 AVALIAÇÃO E MODELAÇÃO DE BENEFÍCIOS</b> .....	<b>7</b>
2.2.1 Indicadores .....	7
<i>2.2.1.1 Qualidade do ar e as árvores urbanas</i> .....	<i>8</i>
2.2.2 Simulação com o Software i-Tree e suas limitações .....	11
<b>2.3 AS ZONAS INDUSTRIAIS E OS SEUS PROBLEMAS</b> .....	<b>12</b>
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – ZONA INDUSTRIAL DAS CANTARIAS (BRAGANÇA)</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 A FERRAMENTA I-TREE</b> .....	<b>14</b>
3.2.1 Levantamento dos dados – Medição de Parâmetros.....	15
3.2.2 Interpretação dos resultados.....	18
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>22</b>
<b>4.1 EFEITOS E VALORES DA FLORESTA URBANA</b> .....	<b>22</b>
4.1.1 Características das árvores da floresta urbana .....	22
4.1.2 Remoção da poluição do ar por árvores urbanas.....	25

4.1.3 Armazenamento e sequestro de carbono .....	26
4.1.4 Produção de oxigénio .....	28
4.1.5 Escoamento evitado .....	30
4.1.6 Valores Estruturais e Funcionais .....	31
4.1.7 Potenciais impactes de pragas .....	31
<b>5 CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS.....</b>	<b>33</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>35</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Localização da Zona Industrial de Bragança .....	13
<b>Figura 2</b> - Localização da área de estudo na zona industrial de Bragança .....	14
<b>Figura 3</b> – Imagem disponibilizada pela Universidade de Valhadolide – Espanha, para o projeto INDNATUR, com o cenário desejado e proposto à Câmara Municipal de Bragança, através da incorporação de árvores como SBNs.....	16
<b>Figura 4</b> – Medição do DAP das árvores com uma fita métrica .....	16
<b>Figura 5</b> – Vara graduada utilizada para medir a altura das árvores .....	17
<b>Figura 6</b> – Composição de espécies de árvores no inventário .....	22
<b>Figura 7</b> – Percentagem da população de árvores por classe de diâmetro (DAP - diâmetro do caule a 1,37 metros) .....	23
<b>Figura 8</b> – Percentagem da população de árvores vivas de origem nativa por área do inventário.....	23
<b>Figura 9</b> – Sequestro bruto anual estimado de carbono (pontos) e valor (barras) para espécies de árvores urbanas com a maior sequestração do inventário .....	27
<b>Figura 10</b> – Estimativa de armazenamento de carbono (pontos) e valores (barras) para espécies de árvores urbanas com maior armazenamento do inventário .....	28
<b>Figura 11</b> – Escoamento evitado (pontos) e valor (barras) para espécies com maior impacte geral no escoamento do inventário.....	30
<b>Figura 12</b> – Espécies de árvores com maior valor estrutural do inventário.....	31
<b>Figura 13</b> – Número de árvores em risco (pontos) e valor compensatório associado (barras) por pragas potenciais do inventário.....	32

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Espécies mais importantes do inventário.....	24
<b>Tabela 2</b> - Remoção anual da poluição e valor por árvores urbanas do inventário.	26
<b>Tabela 3</b> - As 20 principais espécies produtoras de oxigénio. ....	29

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>AF</b>	<b>Área Foliar</b>
<b>BenMAP</b>	<b>Programa de Análise e Mapeamento de Benefícios Ambientais</b>
<b>cm</b>	<b>Centímetro</b>
<b>COV</b>	<b>Compostos Orgânicos Voláteis</b>
<b>DAP</b>	<b>Diâmetro na Altura do Peito</b>
<b>EUA</b>	<b>Estados Unidos</b>
<b>FHTET</b>	<b>Forest Health Technology Enterprise Team</b>
<b>GEEs</b>	<b>Gases de Efeito Estufa</b>
<b>GM</b>	<b>Gypsy Moth</b>
<b>GPS</b>	<b>Sistema de Posicionamento Global</b>
<b>ID</b>	<b>Identidade</b>
<b>IPB</b>	<b>Instituto Politécnico de Bragança</b>
<b>PM</b>	<b>Material Particulado</b>
<b>SBNs</b>	<b>Soluções Baseadas na Natureza</b>
<b>UE</b>	<b>União Europeia</b>
<b>UICN</b>	<b>União Internacional para a Conservação da Natureza</b>
<b>UTFPR</b>	<b>Universidade Tecnológica Federal do Paraná</b>
<b>USDA</b>	<b>Departamento de Agricultura dos Estados Unidos</b>

**VI**



**Valores de Importância**

# 1 INTRODUÇÃO

Surgido no final dos anos 2000, o conceito de soluções baseadas na natureza (SBNs) consiste em promover a restauração, melhoria e manutenção dos ecossistemas e da biodiversidade, substituindo intervenções humanas poluidoras ou ambientalmente agressivas por práticas ecológicas, como forma de abordar várias questões simultaneamente, como os desafios sociais nas cidades, o que desenvolve caminhos para uma urbanização sustentável (KABISCH *et al.* 2016). A política da UE aborda os desafios transversais da sociedade ao focar na investigação da biodiversidade e dos serviços dos ecossistemas com destaque para a inovação, crescimento e geração de empregos (FAIVRE *et al.* 2017).

Fraga (2020) exemplificou que na Europa e entre organismos internacionais, como a União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) e o Banco Mundial, o conceito vem se destacando como uma aposta a ser desenvolvida para que seja implementada na adaptação às mudanças climáticas, e dessa forma, foi iniciado, em 2015, um movimento de pesquisa académica sobre a aplicação de soluções baseadas na natureza.

As SBNs são entendidas como soluções que, de alguma forma, se inspiraram, copiam ou têm por base processos naturais com o objetivo de gerar benefícios sociais, ambientais e económicos para a sociedade, especialmente aplicados para a resiliência urbana, além de criar oportunidades de geração de emprego e renda (FRAGA, 2020).

Devecchi *et al.* (2021) defendem que as soluções baseadas na natureza representam iniciativas como sistema de áreas verdes urbanas, jardins de chuva e alagados construídos, abordando diversas maneiras em que os serviços dos ecossistemas podem ser geridos e restaurados de forma a reduzir a vulnerabilidade urbana frente aos prejuízos económicos gerados após eventos extremos.

Segundo Debele *et al.* (2019), as árvores são um exemplo de SBNs e possuem um importante papel em afetar as condições meteorológicas. Elas fazem parte da infraestrutura verde urbana e promovem a redução localizada da temperatura do ar nas áreas urbanas. Dotto (2018) exemplifica que a posição em que as árvores estão plantadas em relação aos elementos de infraestrutura urbana e às edificações presentes no local são parâmetros relevantes para a análise da qualidade

e quantidade da vegetação urbana existente num setor.

Através da utilização do software i-Tree Eco desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), e por meio de um cadastro de árvores urbanas, será possível a obtenção de dados dos benefícios das árvores em meio urbano, sendo eles: armazenamento e sequestro de carbono, remoção de poluição e impactos na saúde humana, efeitos hidrológicos (escoamento evitado, interceptação, transpiração), efeitos sobre a energia utilizada por edifícios, bio-emissões de árvores, entre outros benefícios ambientais, a fim de contribuir para a melhoria das estratégias de descontaminação no meio urbano (LÓPEZ, 2019). O uso desta ferramenta pode contribuir com a proteção do ambiente, evidenciando os benefícios das árvores no contexto da melhoria da qualidade do ar e da prestação de serviços do ecossistema, cada vez mais reconhecidos como essenciais para o progresso rumo à sustentabilidade.

Com base no exposto, esta dissertação tem por objetivo estimar os potenciais benefícios ambientais das soluções baseadas na natureza, previstas no âmbito do Projeto POCTEP INDNATUR, na Zona Industrial de Cantarias (Bragança), por intermédio da ferramenta i-Tree.

Como objetivos específicos, o trabalho visa:

- Caracterizar a área de estudo e a vegetação presente;
- Construir uma base de dados de entrada no Software i-Tree;
- Simular e interpretar os benefícios ambientais com o Software i-Tree;
- Definir cenários com base nos dados de intervenção do projeto e em formulações alternativas.

A dissertação será estruturada em cinco partes: introdução, referencial teórico, metodologia, resultados e conclusões.

Nesta parte introdutória, é apresentada uma visão geral sobre o papel das árvores como solução baseada na natureza, sobre a simulação com o software i-Tree, os objetivos do mesmo e sua estrutura.

No referencial teórico, são apresentados os principais conceitos e definições para a realização e desenvolvimento desta dissertação e trata-se da avaliação e modulação dos benefícios das soluções baseadas na natureza, onde se descrevem: o

valor económico das SBNs e os potenciais benefícios ambientais das árvores como ferramenta de intervenção no meio urbano, como o ciclo do carbono; os indicadores do software i-Tree, como a qualidade do ar, o número de árvores, a distribuição de diâmetros, a diversidade de espécies, o risco potencial de pragas, as espécies invasoras e efeitos sobre a saúde, o armazenamento e sequestro de carbono, a redução de escoamentos, as emissões de compostos orgânicos voláteis (COV), os efeitos da energia utilizada por construções e a simulação dos mesmos.

No capítulo da metodologia foi apresentada a área de estudo, assim como algumas das suas particularidades, como as características físicas da Zona Industrial, para além dos aspetos metodológicos do levantamento e tratamento de dados, incluindo os instrumentos utilizados.

Por fim, são apresentados os resultados obtidos a partir da introdução do inventário na ferramenta i-Tree, e da relação dos dados com as características da área de estudo. Desse modo, é possível analisar os potenciais benefícios das soluções baseadas na natureza propostas pelo projeto.

## **2 AVALIAÇÃO E MODULAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA EM ZONAS INDUSTRIAIS**

### **2.1 SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA**

As SBNs são estratégias de intervenção no meio urbano influenciadas, apoiadas ou que imitam a natureza. Elas possuem um imenso potencial para serem eficazes no contexto da gestão da energia e dos recursos e são resilientes à mudança, contudo, para atingir tais resultados, precisam ser adequadas às circunstâncias do local (EUROPEAN COMMISSION, 2020).

Estas soluções estão proliferando pelas cidades europeias nos últimos anos em resposta a vários desafios urbanos, inclusive presentes em zonas industriais, como mudanças climáticas, degradação urbana e degradação das infraestruturas. Com as inúmeras evidências sobre as SBNs, há uma necessidade de traduzir este conhecimento para políticas urbanas e planejamentos futuros. A implementação dessas soluções nas cidades, como a criação de espaços verdes diversos, precisa ser esteticamente atraente para os cidadãos, pois isso está associado aos benefícios sociais. (FRANTZESKAKI, 2019).

As SBNs são utilizadas para restaurar os fluxos ecológicos nas cidades e como novas soluções de infra-estrutura que aumentam a resiliência do meio urbano. Elas são válidas para adaptação às mudanças climáticas e regeneração urbana, requerem diferentes configurações de cocriação para se conectar com a inovação social urbana e exigem uma abordagem colaborativa para seu planejamento e implementação (FRANTZESKAKI, 2019).

As SBNs são soluções que buscam mitigar efeitos antrópicos na Natureza, as quais incorporam elementos naturais nos espaços urbanos e possuem a premissa de restabelecer cenários alterados pelo ser humano (ALVES, 2020).

Como exemplos de Soluções Baseadas na Natureza, tem-se os parques lineares, construídos no entorno de corpos d'água como rios e córregos, formando uma linha verde ao longo de seus trajetos, estes podem integrar outras soluções, conseqüentemente, trazendo sinergia para alternativas já instaladas. Também podem ser citados: arborização urbana, que é benéfica para a redução do escoamento superficial, enquanto as suas raízes armazenam água; manutenção de planícies aluviais e traçados fluviais originais; sistemas de áreas verdes vinculados a

paisagens com água; infraestruturas verde e azul; ou paredes e telhados verdes (DEVECCHI *et al.* 2021).

### 2.1.1 Valor ambiental e social

Segundo Kooijman *et al.* (2021), as pesquisas direcionadas ao valores ambientais e sociais criados pelas SBNs são essenciais para contribuir potencialmente para os desafios da sociedade global e os objetivos, por exemplo, do Acordo Verde da UE e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.

As SBNs transformam os locais onde são implementadas, em espaços de maior valor ambiental, paisagístico, cultural e social, resgatando a relação das infraestruturas com o seu território (CASTILLO-RODRÍGUEZ, 2018).

O Governo deve-se encarregar de promover a cultura do valor ambiental, social e económico, com foco em aumentar a conscientização da população. Para o aprimoramento desta temática, têm que ser implementados inicialmente programas educacionais nos níveis fundamental, médio e universitário para sua compreensão e, conseqüentemente, sua materialização no cuidado e valorização do meio ambiente (ZAA, 2019).

### 2.1.2 Valor económico

A vegetação urbana não deve ser considerada apenas como uma decoração, mas sim como uma infraestrutura natural, que acrescenta qualidade ambiental às cidades, trazendo também benefícios sociais, económicos e para a saúde e o bem-estar humanos (EUROPEAN COMMISSION, 2020). Os inúmeros benefícios biofísicos e socioeconómicos que as árvores fornecem para uma cidade e seus residentes podem ser identificados, destacados e quantificados (quando possível), podendo ser expressos com o valor económico total dos fluxos anuais de variados serviços dos ecossistemas (ALVARADO, 2019).

As soluções baseadas na natureza agregam valor económico, que tende a aumentar quanto maior a quantidade e tamanho de árvores saudáveis, pois proporcionam: melhorias na qualidade residencial (por meio de criação de novos espaços verdes ou melhorias de existentes), a atratividade para potenciais

investidores e novos residentes, mobilização de finanças públicas e privadas para requalificação de áreas estruturalmente desfavorecidas, oportunidades de empregos verdes por meio da criação de modelos de negócios verdes, e incentivos financeiros ao implementar SBNs, melhor infraestrutura por meio do fornecimento de passeios e ciclovias seguras para conectar diferentes partes da cidade, ampliação da infraestrutura turística e melhor conexão às redes transregionais de turismo (DUSHKOVA e HAASE, 2020).

### 2.1.3 Potenciais benefícios ambientais das árvores como ferramenta de intervenção no meio urbano

Segundo Berto, Stival, Rosato (2018), os benefícios ambientais impulsionam a mudança nas políticas verdes atuais, como o uso de vegetação, por meio de uma avaliação adequada da redução de custos relacionados aos danos causados à saúde através da mitigação da poluição do ar.

Connop *et al.* (2020), menciona que a avaliação do valor recreativo do espaço verde pode ser usada para apoiar estes espaços com o intuito de garantir que as soluções baseadas na natureza estão fornecendo benefícios sociais, económicos e ambientais. A extensão de área verde (pública ou privada acessível ao público) por habitantes é um indicador dos benefícios ambientais fornecidos por estas áreas em ambientes urbanos, como a redução das ilhas de calor.

#### 2.1.3.1 A relação do ciclo do carbono com a vegetação

O ciclo do carbono é um fenómeno natural que sofre influência antrópica, devido principalmente ao uso de combustíveis fósseis, e isto impacta na maneira como vivemos (BARROS, 2011). Os gases de efeito estufa (GEEs) são um dos agentes antrópicos que possuem relação direta com o desequilíbrio do ciclo do carbono no aquecimento global. Desde o período industrial este ciclo biogeoquímico é fortemente investigado em suas vertentes económica, social e ambiental, por isso aborda-se também o carbono na atualidade (BESSA, 2019).

A vegetação apresenta um papel fundamental para o equilíbrio do ciclo do carbono, a partir da absorção do Dióxido de carbono no processo de fotossíntese. Com a percepção humana voltada para o desequilíbrio deste ciclo em todo o planeta,

o fenómeno da mudança climática se tornou uma preocupação mundial em diversos segmentos do conhecimento humano, inclusive, a interferência económica causada pela influência do clima nas atividades produtivas (BESSA, 2019).

O armazenamento e o potencial para o sequestro de carbono são alguns exemplos de serviços ambientais, onde o carbono sequestrado pode ser transportado e armazenado debaixo da terra. Os pagamentos por estes serviços, chamados créditos de carbono, surgiram como uma forma de combater o desmatamento, por meio de repasses financeiros a proprietários de terra que preservem as florestas existentes em suas propriedades ou que aderissem a programas de reflorestamento. Os resultados de estudos dessa natureza são de extrema importância e fazem parte dos principais debates sobre o meio ambiente (PAIVA, 2018).

## 2.2 AVALIAÇÃO E MODELAÇÃO DE BENEFÍCIOS

Os benefícios das soluções baseadas na natureza são reconhecidos e incluem a melhoria da qualidade de vida, da saúde humana, da qualidade do ar, da sustentabilidade e do planeamento urbano, entre outros, por meio da conservação e recuperação de infraestrutura natural. Os sistemas de avaliação quantitativa com base em simulações são uma das melhores ferramentas para quantificar as influências das SBNs no clima urbano e na qualidade do ar, o que permite ao usuário simular os múltiplos impactes dos cenários dessas alternativas antes de sua implementação nas cidades e suas indústrias (ASCENSO *et al.* 2021).

Conforme Santamaría (2017), a avaliação quantitativa dos benefícios, com base em simulações, pode detetar o efeito da vegetação urbana na qualidade do ar, ou seja, se atuam como barreira à entrada de poluentes onde há tráfego pesado e maiores emissões de poluentes, entre outros. Uma avaliação dos espaços verdes urbanos também é necessária para conscientizar os formuladores de políticas, planejadores urbanos, gestores da cidade e o público em geral dos serviços dos ecossistemas que estes espaços fornecem para melhor preservá-los (SONG *et al.* 2020).

### 2.2.1 Indicadores

Ao conduzir uma avaliação do efeito de redução do impacte na qualidade

do ar, durante a fase de projeto e planeamento de uma SBN, possibilita-se assim que os indicadores de vulnerabilidade ecológicos, económicos e sociais, sejam monitorizados e mostrem se a SBN tem potencial sucesso na redução do impacte (SHAH *et al.* 2020).

Como para todas as avaliações de risco, o principal desafio para a implementação da estrutura conceitual é obter dados para os indicadores que determinem os múltiplos perigos, exposição e vulnerabilidade dos serviços dos ecossistemas nos locais do projeto da SBN (SHAH *et al.* 2020).

Alguns exemplos de indicadores utilizados para avaliar os impactes das SBN em diferentes áreas são: o sequestro de carbono pelas florestas urbanas, riqueza de espécies de vegetação em relação a sua contribuição com o meio, quantidade anual de poluentes sequestrados pela vegetação, acessibilidade a espaços verdes públicos, entre outros (RAYMOND *et al.* 2017).

Os indicadores também podem estar relacionados ao orçamento administrativo da cidade e podem incluir percentagem do orçamento e estratégias de implementação. Os indicadores financeiros referem-se a recursos, em termos de investimento, retorno sobre o investimento e as margens de "lucro" avaliadas (RAYMOND *et al.* 2017).

Os valores estruturais e funcionais das florestas urbanas compõem um indicador relacionado com os investimentos feitos nas próprias árvores e nas suas aplicabilidades, que podem ser influenciados por questões como o manejo da vegetação, a invasão de populações de pragas, a adaptação às alterações climáticas e a relação da área verde com a dinâmica dos recursos habitacionais existentes (AGUIAR).

#### 2.2.1.1 Qualidade do ar e as árvores urbanas

Os resultados da aplicação do i-Tree Eco para um contexto urbano, indicam, embora assente em estimativas, que as árvores podem fornecer serviços valiosos do ecossistema na melhoria da qualidade do ar urbano e, assim, reduzir os impactes negativos à saúde associados à poluição do ar (ALVARADO, 2019).

A qualidade do ar é fortemente influenciada por emissões provenientes de tráfego de veículos, e queima de biomassa em períodos frios, o que pode levar a um aumento nas concentrações de ozono e outros poluentes das cidades. As áreas verdes

possuem grande impacto na redução de poluentes do ar e de temperatura durante o verão (ASCENSO *et al.* 2021).

Iniciativas que focam no plantio de árvores como forma de criar um novo patrimônio verde para uma cidade, com uma visão da natureza urbana mais focada em valores estéticos e benefícios ambientais direcionados para a melhoria da qualidade do ar certamente são muito necessárias (TOZER *et al.* 2020).

Os benefícios das soluções baseadas na natureza são reconhecidos e incluem a melhoria da qualidade de vida, da saúde humana e da qualidade do ar, entre outros. Os sistemas de avaliação quantitativa com base em simulações são uma das melhores ferramentas para quantificar as influências das SBNs no clima urbano e na qualidade do ar, o que permite ao usuário avaliar os múltiplos impactos dos cenários dessas soluções antes de sua implementação (ASCENSO *et al.* 2021).

A remoção da poluição é calculada para ozônio, dióxido de enxofre, dióxido de azoto, monóxido de carbono e partículas menores que 2.5 micrómetros. O material particulado com menos de 10 micrómetros (PM10) é outro poluente atmosférico significativo. Dado que o i-Tree Eco analisa partículas com menos de 2.5 micrómetros (PM2.5), que é um subconjunto de PM10, PM10 não foi incluído nesta análise. PM2.5 é geralmente mais relevante nas discussões sobre a poluição do ar e os seus efeitos na saúde humana.

As estimativas de remoção de poluição do ar são derivadas de resistências calculadas de hora em hora da copa das árvores para ozônio, enxofre e dióxido de azoto com base num híbrido de modelos de deposição de dossel de folhas grandes e multicamadas (BALDOCCHI, 1988; BALDOCCHI *et al.* 1987). Como a remoção de Monóxido de carbono e material particulado pela vegetação não é diretamente relacionada à transpiração, as taxas de remoção (velocidades de deposição) para esses poluentes foram baseadas na média de valores da literatura (BIDWELL e FRASER, 1972; LOVETT, 1994) que foram ajustados dependendo da folha, fenologia e área foliar. Na remoção de partículas foi incorporada uma taxa de ressuspensão de 50% das partículas de volta à atmosfera (ZINKE, 1967). Atualizações de (2011) para modelagem de qualidade do ar são baseadas em índices de área foliar, simulações, processamento e interpolação do clima e da poluição e valores monetários atualizados dos poluentes (HIRABAYASHI *et al.* 2011; HIRABAYASHI *et al.* 2012; HIRABAYASHI, 2011).

As árvores removem PM2.5 quando o material particulado é depositado nas superfícies das folhas (NOWAK *et al.* 2013). Este PM depositado pode ser ressuspenso na atmosfera ou removido durante eventos de chuva e dissolvido ou transferido para o solo. Esta combinação de eventos pode levar à remoção da poluição positiva ou negativa e o valor depende de vários fatores atmosféricos. Geralmente, a remoção de PM2.5 é positiva, trazendo benefícios. Porém, existem alguns casos em que a remoção líquida é negativa ou as partículas ressuspensas levam a maiores concentrações de poluição. Durante alguns meses (por exemplo, sem chuva), as árvores ressuspendem mais partículas do que removem. Ressuspensão também pode levar ao aumento das concentrações gerais de PM2.5 se as condições da camada limite forem mais baixas durante períodos de ressuspensão do que durante períodos de remoção. Uma vez que o valor de remoção de poluição é baseado na mudança da concentração de poluição, é possível que haja situações em que as árvores removam PM2.5, mas aumentem as concentrações do mesmo e, portanto, possuem valores de remoção negativos durante os períodos de remoção geral positiva. Esses eventos não são comuns, mas podem acontecer.

Para relatórios nos Estados Unidos, o valor padrão de remoção de poluição do ar é calculado com base na incidência local de efeitos adversos para a saúde e custos médios de externalidade nacionais. O número de efeitos adversos à saúde e o valor económico associado é calculado para ozono, dióxido de enxofre, dióxido de azoto e material particulado de 2.5 micrómetros utilizando dados do Mapeamento de Benefícios Ambientais da Agência de Proteção Ambiental dos EUA e Programa de Análise (BenMAP) (NOWAK *et al.* 2014). O modelo usa uma abordagem de função de dano que se baseia na mudança local da concentração de poluição. Custos de externalidade mediana nacional para os Estados Unidos foram utilizados para calcular o valor da remoção do monóxido de carbono (MURRAY *et al.* 1994).

Para relatórios internacionais que não possuem valores locais, as estimativas são baseadas em valores de externalidade média europeia (VAN ESSEN *et al.* 2011) ou equações de regressão no BenMAP (NOWAK *et al.* 2014) que incorporam estimativas populacionais definidas pelo usuário. Os valores são então convertidos para a moeda local com taxas de câmbio definidas pelo usuário.

### 2.2.2 Simulação com o Software i-Tree e suas limitações

Em Connop (2020), encontra-se que as abordagens de modelagem são ferramentas úteis, que permitem a simulação de cenários não existentes/futuros. Os serviços do ecossistema podem ser quantificados através do software i-Tree Eco. Em estudos realizados no i-Tree obtêm-se dados sobre a concentração de poluentes de diferentes estações de monitoramento da qualidade do ar, onde são selecionados e utilizados os dados de uma só estação. A quantidade de poluentes absorvidos pelas árvores é estimada com o uso do software, podendo calcular os valores económicos destes serviços do ecossistema de purificação do ar para áreas urbanizadas (SZKOP, 2020).

O i-Tree requer informações de entrada como, espécies, diâmetro do tronco à altura do peito (DAP), uso da terra, altura total da árvore, saúde da copa e exposição à luz da copa, que foram coletadas, e dados opcionais que poderão ser colhidos em estudos futuros, como endereço da árvore, área, situação na rua (parcela pública ou privada), coordenadas do mapa (GPS), energia (construção), manutenção recomendada, conflito de calçada, conflito de utilidade e pragas. A caracterização das espécies é importante para a inicialização do software pois esses dados definem os parâmetros básicos usados para calcular todos os serviços e desserviços do ecossistema. Se a informação da espécie não estiver disponível, o i-Tree usa valores que são definidos pelo gênero, família ou tipo. Deste modo, é desejável definir a inicialização do software para espécies, tamanho e composição de cada árvore por meio de métodos económicos e objetivos, particularmente quando grandes áreas serão estudadas (PACE *et al.* 2018).

Apesar de algumas limitações para projetos internacionais, a plataforma consegue cumprir com as suas funções de forma satisfatória. Apesar das limitações dos algoritmos do modelo, a precisão dos resultados depende da exatidão da coleta de dados em campo (OLIVEIRA, 2019). As árvores urbanas fornecem uma gama de serviços ecossistémicos, incluindo purificação do ar, este serviço específico pode ser quantificado usando o software i-Tree Eco, mas o software tem algumas limitações.

Uma limitação é que o modelo de poluição utilizado no software não pode levar em consideração diferenças espaciais nas concentrações de poluentes, que

ocorrem em todas as cidades devido à diversidade de poluidores, o que pode influenciar as estimativas obtidas sobre quantidades anuais de poluentes atmosféricos absorvidos pelas árvores, conforme determinado pelo software, e, portanto, levam a uma estimativa imprecisa do valor econômico desse serviço do ecossistema (SZKOP, 2020).

É importante indicar que o termo “limitação do modelo de poluição i-Tree Eco” está a ser usado, mas a preocupação principal é com a forma como os pesquisadores elaboram os seus projetos. Neste contexto, também deve ser observado que a limitação discutida pode não se referir a todos os tipos de usuários do software, visto que a precisão dos resultados depende da veracidade dos dados coletados (SZKOP, 2020).

### 2.3 AS ZONAS INDUSTRIAIS E OS SEUS PROBLEMAS

Inicialmente cabe ressaltar que a expressão zona industrial define-se por uma forma de aglomeração planeada, onde se deve realizar uma caracterização criteriosa do meio físico e biótico da área para que o uso e ocupação do solo seja adequado, minimizando impactes ambientais negativos que possam surgir após a instalação destes empreendimentos, como a supressão da vegetação sem compensação florestal, entre outros (ÁVILA, 2018).

Uma base de informações sobre a evolução física e antrópica da cidade, pode mostrar a relação entre o ambiente natural e o construído, o desenvolvimento económico-social e a política urbana de organização do crescimento territorial, chegando nas questões das instalações e operações das zonas industriais e de grandes empreendimentos urbanos (ÁVILA, 2018). A poluição do ar é um dos principais problemas ambientais causados pelas indústrias nas áreas urbanas e rurais (MOREIRA-ROMERO, 2018).

A reabilitação sustentável de áreas industriais e a diminuição da poluição atmosférica e sonora possuem como objetivo melhorar a envolvente urbana, frente aos problemas endémicos das zonas industriais, que trazem consequências negativas para a qualidade dos espaços urbanos (PRESUMIDO *et al.* 2018).

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 APRESENTAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO – ZONA INDUSTRIAL DAS CANTARIAS (BRAGANÇA)

A cidade de Bragança está localizada no norte de Portugal (BRAGANÇA). Segundo o INE (2021), considerando as freguesias urbanas de Sé, Santa Maria e Meixedo, a cidade possui uma população de 24.078 habitantes. Sua área urbana possui tipologias de construções diversas como edifícios unifamiliares e plurifamiliares, comércio e indústria, onde a última é pouco representativa na cidade (MENEZES *et al.* 2017).

A área de estudo (Figura 2) situa-se na zona industrial das Cantarias (Figura 1), onde há uma maior concentração de empresas industriais e, maioritariamente, de comércio, também possui pouca disponibilidade de espaços verdes e amplas zonas asfaltadas. Esta zona industrial possui uma área total em empresarial de 970 mil m<sup>2</sup>, destes, 830 mil m<sup>2</sup> são para instalações de empresas (ALVES, 2020). Os principais segmentos de empresas localizadas nesta região são dos sectores, comércio de automóveis e de pneus, equipamentos, indústrias gráficas, transformação de ferro, máquinas industriais, materiais de construção, reboque, oficinas, entre outros.





**Figura 2** - Localização da área de estudo na zona industrial de Bragança

**Fonte:** Autoria própria (2021)

A intervenção do projeto tem como finalidade contribuir com a arborização e consequente melhoria microclimática da área de estudo através da avaliação dos resultados obtidos na ferramenta i-Tree, onde foram lançados dados a partir da identificação e caracterização da área.

### 3.2 A FERRAMENTA I-TREE

O *software* utilizado para modelagem é o i-Tree Eco versão 6 que utiliza dados de amostragem ou de inventário das árvores, que devem ser coletados, como a identificação das espécies e diâmetro na altura do peito (DAP), dados opcionais porém altamente recomendados para melhorar as estimativas do modelo, como uso do solo, altura total da árvore, tamanho da copa, saúde da copa e exposição à luz da copa, e por fim existem alguns campos opcionais, como endereço da árvore, estratos/área, árvore de rua ou não, coordenadas do mapa, pública/privada, energia (distância do edifício, direção para a construção), manutenção recomendada, tarefa de manutenção, conflito de calçada, conflito de utilidade, pragas, id da árvore. As espécies (ordem de classificação do organismo), podem ser inseridas com os seus

nomes comuns, científicos ou códigos, já o DAP é medido com o auxílio de fita métrica.

Os resultados do i-Tree são: sequestro de carbono, interceptação da água da chuva, remoção de poluentes do ar, economia de energia dos edifícios e emissão evitada de carbono na geração de energia.

### 3.2.1 Levantamento dos dados – Medição de Parâmetros

No i-Tree Eco foi criado um inventário de árvores da Zona Industrial das Cantarias, com base na situação de referência atual, para que seja possível integrar o cenário proposto previsto no Projeto Poctep INDNATUR (Figura 3).

As medições de dados ocorreram de abril de 2021, durante a primavera, até junho de 2021, no verão. O período de recolha de dados da exposição à luz da copa foi: no nascer do sol, entre as 5:00 e as 8:00; no meio-dia solar, das 13:00 às 14:00, e no pôr do sol, das 19:00 às 22:00.

O dados do perímetro na altura do peito foram coletados com o auxílio de uma fita métrica (Figura 4), e mesmo sendo possível realizar medições de perímetros a qualquer altura do tronco da árvore, estabeleceu-se por norma que o padrão é medido a uma altura fixa de 1.30 m a contar do solo, ou seja, na altura do peito, este padrão é necessário para verificações de garantia de qualidade e avaliações futuras (FLORIANO, 2021). Uma vez medido o perímetro, efetuou-se a conversão pela fórmula  $D = P/\pi$ .

As espécies, designadas com nomes científicos, e as alturas totais das árvores em metros, foram disponibilizadas por estudo anterior, mesmo assim, as alturas foram coletadas novamente para confirmação e correção das mesmas (Figura 5). O software i-Tree foi utilizado para a apresentação final dos dados.



**Figura 3** – Imagem disponibilizada pela Universidade de Valhadolide – Espanha, para o projeto INDNATUR, com o cenário desejado e proposto à Câmara Municipal de Bragança, através da incorporação de árvores como SBNs

**Fonte:** Projeto INDNATUR (2020)



**Figura 4** – Medição do perímetro das árvores com uma fita métrica



**Figura 5** – Vara graduada utilizada para medir a altura das árvores

No parâmetro uso do solo foi descrito o contexto onde as árvores se estão a desenvolver. Para isso, é feita uma seleção entre 13 categorias de uso do solo padrão personalizáveis. Já para a altura total da árvore basta inserir uma única entrada de dados que descreva estas alturas do solo ao topo.

Para o tamanho da copa devem ser inseridas cinco entradas de dados, incluindo duas medições da largura da copa (norte a sul e leste a oeste), duas medições da altura da copa (altura ao topo vivo e altura à base da copa), e uma percentagem estimada de volume ausente da copa, que considera as áreas sem folhas e galhos.

A avaliação da saúde da copa (*dieback* ou condição) foi realizada para cada árvore, de forma visual, a partir de uma análise da quantidade de galhos mortos nesta copa. No *dieback*, são recolhidos os dados considerando a percentagem da copa que é composta de galhos mortos. Já se for selecionada a condição, o inverso da percentagem de *dieback* deverá ser inserido (ou seja, a percentagem viva).

Além disso, uma classificação geral das condições das árvores, como uma comparação, será atribuída, para avaliar todos os seus aspetos visíveis incluindo a presença de insetos ou doenças, danos causados por raízes e a proximidade das

árvores com as infraestruturas. Para reduzir a subjetividade, é interessante que a classificação seja feita por mais de uma pessoa, e em seguida, discutida para se chegar a uma classificação final, neste caso, ela foi realizada por duas pessoas.

Finalmente, a exposição à luz da copa consiste na inserção de uma única entrada de dados que indica o número de lados da copa das árvores que recebem luz solar direta.

### 3.2.2 Interpretação dos resultados

O inventário das árvores da Zona Industrial das Cantarias foi analisado em relação às medições de árvores obrigatórias e às altamente recomendadas para melhorar as estimativas do software i-Tree Eco. A avaliação do *dieback* como um indicador da condição da árvore é uma questão importante e que junto a outros dados coletados e inseridos no software pode-se determinar a composição das espécies, tamanho, distribuição e diversidade, sendo todo este conjunto muito útil para o planejamento urbano realizado por gestores e para a manutenção da vegetação.

O i-Tree foi projetado para avaliar os serviços do ecossistema que estão frequentemente relacionados às funções da folha e tem potencial para se tornar o padrão de inventário de árvores urbanas, ao apresentar informações ambientais eficazes em formato de tabelas, dados estatísticos e relatórios (SCHOLZ; HOF; SCHMITT, 2018).

Nos resultados referentes à remoção da poluição do ar por árvores urbanas, para relatórios internacionais, são usados valores de poluição locais definidos pelo usuário. Já na parte sobre cobertura florestal urbana e área foliar, são apresentados os valores de importância (Tabela 1), onde seu cálculo é uma questão muito simples, pois basta somar a percentagem da população e a percentagem de área foliar, obtendo assim o resultado. Observe a Equação 1, utilizada pelo i-Tree.

$$\%P + \%AF = VI \tag{1}$$

Onde:

$\%P$  = percentagem da população de uma espécie arbórea;  $\%AF$  = percentagem de área foliar;  $VI$  = valores de importância .

No armazenamento e sequestro de carbono, o armazenamento de carbono é a quantidade de carbono acumulada nas partes acima e abaixo do solo onde se encontra a vegetação. Para o modelo de cálculo do armazenamento de carbono atual, a biomassa de cada árvore foi calculada pelo i-Tree utilizando equações da literatura e os dados das árvores medidos.

Árvores abertas tendem a ter menos biomassa do que o previsto pelas equações da biomassa derivada da floresta (NOWAK, 1994). Para o ajuste dessa diferença, os resultados da biomassa do cultivo aberto das árvores urbanas foram multiplicados por 0,8. Nenhum ajuste foi realizado para árvores encontradas em condições naturais de povoamento. A biomassa de peso seco das árvores foi convertida em carbono armazenado multiplicando-se por 0,5.

O sequestro de carbono é a remoção do dióxido de carbono do ar pelas plantas. Para estimar o valor bruto de carbono sequestrado anualmente, o crescimento apropriado do diâmetro médio dos géneros, a classe de diâmetro e a condição da árvore foram adicionados ao diâmetro da árvore existente para estimar o diâmetro da árvore e o armazenamento de carbono.

Os valores de armazenamento e sequestro de carbono são baseados em valores de carbono locais estimados ou personalizados. Para relatórios internacionais que não têm valores locais, as estimativas são baseadas no valor do carbono para os Estados Unidos (Agência de Proteção Ambiental dos EUA 2015, Grupo de Trabalho Interinstitucional sobre Custo Social do Carbono 2015) e convertido para a moeda local com taxas de câmbio definidas pelo usuário. Para esta análise, os valores de armazenamento e sequestro de carbono são calculados com base em 161 € por tonelada métrica.

Na produção de oxigénio, a quantidade de oxigénio produzida é estimada a partir do sequestro de carbono com base em pesos atómicos. Observe a equação 2.

$$LL \text{ de } O_2 \text{ (Kg/ano)} = SL \text{ de } C \text{ (kg / ano)} \times 32/12 \quad (2)$$

Onde:

LL = liberação líquida; SL = sequestro líquido.

Para estimar a taxa líquida de sequestro de carbono, a quantidade de carbono sequestrado como resultado do crescimento das árvores é reduzida pela quantidade perdida resultante da mortalidade das árvores. Desse modo, o sequestro líquido de carbono e a produção líquida anual de oxigénio da floresta urbana contam para a decomposição (NOWAK *et al.* 2007). Para projetos de inventário completos, a produção de oxigénio é estimada a partir do carbono bruto sequestrado e não leva em conta a decomposição.

No escoamento superficial evitado anual é calculado com base na intercepção da chuva pela vegetação, especificamente a diferença entre escoamento anual com e sem vegetação. Embora as folhas, galhos e cascas de árvores possam interceptar a precipitação e, assim, mitigar o escoamento superficial, apenas a precipitação interceptada pelas folhas é contabilizada nesta análise.

O valor do escoamento evitado é baseado em valores locais estimados ou definidos pelo usuário. Para relatórios internacionais que não possuem valores locais, o valor médio nacional para os Estados Unidos é utilizado e convertido para a moeda local com taxas de câmbio definidas pelo usuário. O valor dos EUA de escoamento evitado é baseado no Serviço Florestal dos EUA Community Tree Guides. Para esta análise, o valor do escoamento evitado é calculado com base no preço de 1,90 € por m<sup>3</sup>.

O indicador valor estrutural é o valor de uma árvore com base no próprio recurso físico (por exemplo, o custo de ter que substituir uma árvore por uma árvore semelhante). Os valores estruturais foram baseados em procedimentos de avaliação do Conselho da Árvore e Avaliadores de Paisagem, que utiliza espécies de árvores, diâmetros, condições e informações de localização (NOWAK *et al.* 2002a; 2002b). Este valor pode não ser incluído para projetos internacionais se não houver dados locais suficientes para completar os procedimentos de avaliação.

Nos potenciais impactes de pragas, a análise de risco potencial de pragas completa não está disponível para estudos fora dos Estados Unidos. O número de árvores em risco para as pragas analisadas é relatado, embora a lista de pragas seja baseada em insetos e doenças conhecidas nos Estados Unidos. Para os EUA, o risco potencial de pragas é baseado em mapas de alcance de pragas e as espécies conhecidas de hospedeiros de pragas que são susceptíveis à experiência de mortalidade.

Mapas de alcance de pragas de 2012 da Forest Health Technology Enterprise Team (FHTET) (FOREST HEALTH TECHNOLOGY ENTERPRISE TEAM, 2014) foram utilizados para determinar a proximidade de cada praga ao município em que está localizada a floresta urbana. Para o município, foi estabelecido se ocorre o inseto / doença dentro da região, se está a 400 km de distância da borda, entre 400 e 1210 km, ou maior que 1210 km.

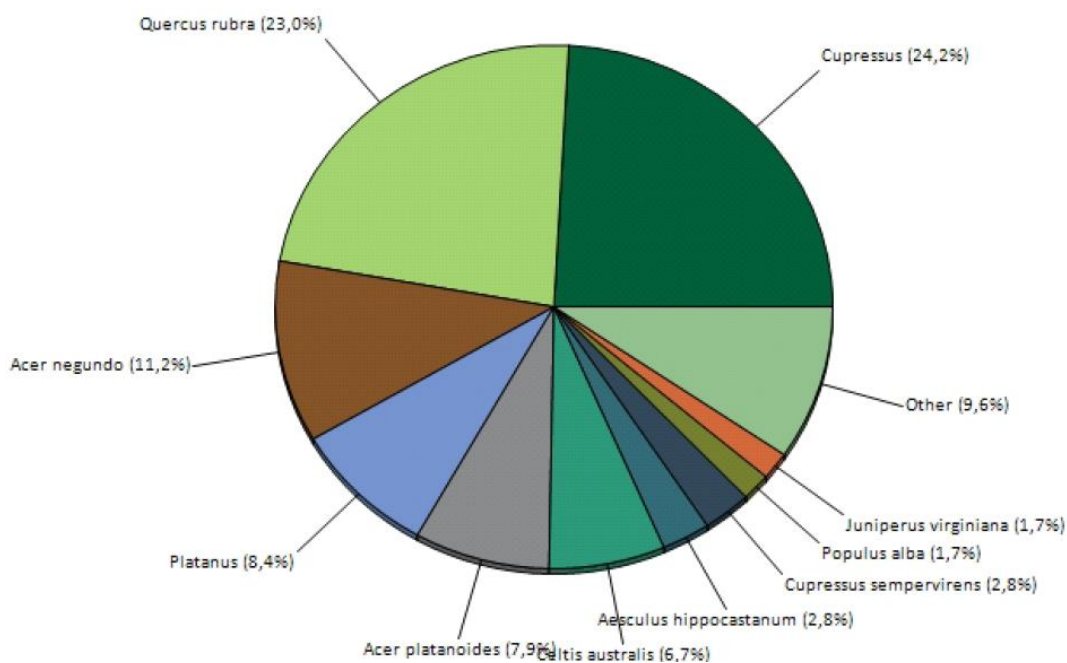
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a simulação dos benefícios ambientais para o contexto atual, relacionando o inventário com as características da área de estudo, foi possível estimar as melhorias na qualidade do ar, com um potencial benefício ambiental, a partir do uso de soluções baseadas na natureza e, em especial, da introdução de árvores.

### 4.1 EFEITOS E VALORES DA FLORESTA URBANA

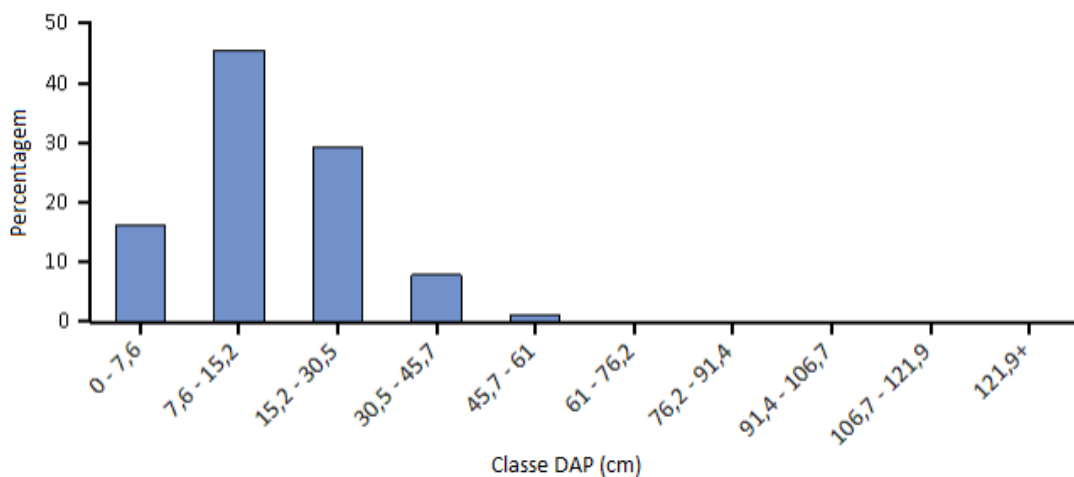
#### 4.1.1 Características das árvores da floresta urbana

Do contexto urbano do presente estudo constam 178 árvores com uma cobertura arbórea diversa. As três espécies mais comuns são *Cupressus* (24,2 %), *Quercus rubra* (23,0 %) e *Acer negundo* (11,2 %) (Figura 6).



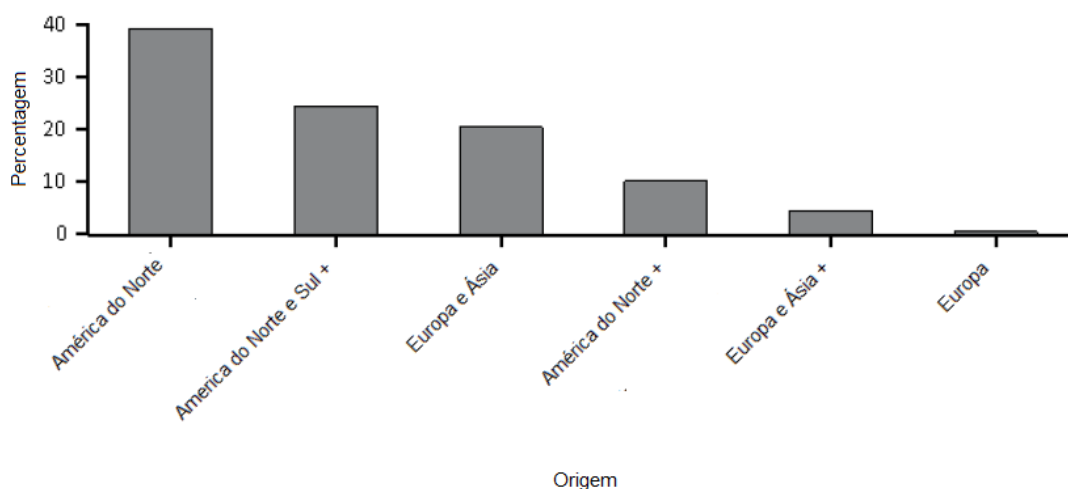
**Figura 6** – Composição de espécies de árvores no inventário

As classes de diâmetros na altura do peito consideradas na Figura 7 foram medidas em campo, onde os mais frequentes variam de 0 cm a 30,5 cm, de acordo com o gráfico gerado pelo i-Tree. Quanto maior a diversidade de espécies de árvores, maior pode ser a variação dos diâmetros.



**Figura 7** – Percentagem da população de árvores por classe de diâmetro (DAP - diâmetro do caule a 1,37 metros)

As florestas urbanas são habitualmente compostas por uma mistura de espécies de árvores exóticas e nativas. Desse modo, as florestas urbanas costumam ter uma maior diversidade de árvores do que as paisagens nativas circundantes. O aumento da diversidade de árvores pode minimizar o impacto ou a destruição por insetos ou doenças específicas da espécie, mas também pode representar um risco para as plantas nativas se alguma das espécies exóticas for invasora pois podem competir e deslocar as espécies nativas. As florestas urbanas são compostas por uma mistura de espécies de árvores exóticas e nativas. No inventário, apenas 1% das árvores são espécies nativas da Europa. A maioria das árvores é originária da América do Norte (39%) (Figura 8).



**Figura 8** – Percentagem da população de árvores vivas de origem nativa por área do

## inventário

As espécies de plantas invasoras são frequentemente caracterizadas por seu vigor, capacidade de adaptação e reprodutiva e falta de inimigos naturais. Essas habilidades permitem que elas desloquem as plantas nativas e as tornem uma ameaça às áreas naturais (RUIZ, 2021).

No inventário, as espécies mais dominantes em termos de área foliar são *Quercus rubra*, *Platanus* e *Acer negundo*. As 10 espécies com os maiores valores de importância estão listadas na Tabela 1. Os valores de importância são calculados como a soma das porcentagens da população e da área foliar. Valores de alta importância não significam que essas árvores devem necessariamente ser reproduzidas no futuro; mas sim, que essas espécies atualmente dominam a estrutura da floresta urbana.

**Tabela 1** - Espécies mais importantes do inventário.

<b>Nome da espécie</b>	<b>Porcentagem da população</b>	<b>Porcentagem de área foliar</b>	<b>Valores de importância</b>
<i>Quercus rubra</i>	23	27	50
<i>Cupressus</i>	24,2	10,9	35
<i>Platanus</i>	8,4	22,6	31
<i>Acer negundo</i>	11,2	15,2	26,4
<i>Acer platanoides</i>	7,9	3,6	11,4
<i>Aesculus hippocastanum</i>	2,8	6,4	9,2
<i>Celtis australis</i>	6,7	2	8,7
<i>Populus alba</i>	1,7	5,1	6,8
<i>Cupressus sempervirens</i>	2,8	0,5	3,3
<i>Juniperus virginiana</i>	1,7	1,2	2,9

**Fonte:** Adaptado de i-Tree (2021).

#### 4.1.2 Remoção da poluição do ar por árvores urbanas

A má qualidade do ar é um problema comum em muitas áreas urbanas. Pode levar à diminuição da saúde humana, a danos materiais da paisagem e de processos do ecossistema e visibilidade reduzida. A floresta urbana pode ajudar a melhorar a qualidade do ar reduzindo a sua temperatura, removendo diretamente os seus poluentes e reduzindo o consumo de energia em edifícios, o que consequentemente diminui as emissões de poluentes atmosféricos das fontes de energia. As árvores também emitem compostos orgânicos voláteis que podem contribuir com a formação de ozono. No entanto, estudos integrativos revelaram que o aumento da cobertura de árvores leva à redução da formação de ozono (NOWAK e DWYER, 2007).

Para a análise da Tabela 2, o valor de remoção de poluição foi calculado pelo i-Tree com base nos preços de 1,041 € por tonelada métrica (monóxido de carbono), 16,240 € por tonelada métrica (ozono), 2,425 € por tonelada métrica (dióxido de azoto), 884 € por tonelada métrica (dióxido de enxofre), 563.727 € por tonelada métrica (partículas com menos de 2.5 micrómetros).

A remoção da poluição pelas árvores que constam do inventário foi estimada tendo em consideração parâmetros recolhidos no campo, dados de poluição recente e dados meteorológicos disponíveis. A remoção da poluição foi maior para o ozono. Estima-se que as árvores removem 13,679 kg de poluição do ar, 12,887 kg de ozono (O<sub>3</sub>), 0,178 kg de monóxido de carbono (CO), 0,372 kg de dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), 0,041 kg de material particulado com menos de 2,5 milímetros (PM<sub>2.5</sub>), e 0,201 kg de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), por ano com um valor económico associado de 233,53 euros (Tabela 2).

**Tabela 2** - Remoção anual da poluição e valor por árvores urbanas do inventário.

<b>Poluentes</b>	<b>Poluição removida (kg)</b>	<b>Valor (€)</b>
CO	0,178	0,18
NO2	0,372	0,90
O3	12,887	209,27
PM2.5	0,041	23
SO2	0,201	0,18
Total	13,679	233,53

**Fonte:** Autoria própria (2021).

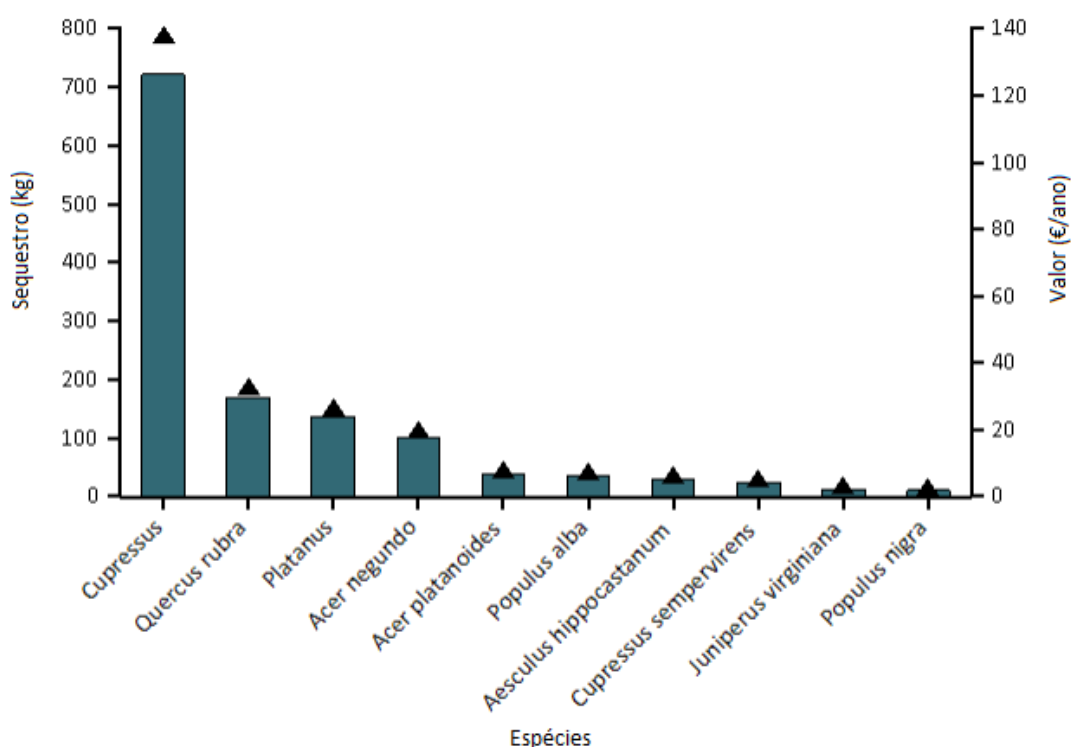
Em 2021, estima-se que as árvores do inventário emitem cerca de 19,52 quilogramas de compostos orgânicos voláteis (COVs), 10,21 quilogramas de isopreno e 9,311 quilogramas de monoterpenos. As emissões variam entre as espécies com base em suas características (por exemplo, alguns géneros, como carvalhos, são altos emissores de isopreno) e na quantidade de biomassa foliar. 75% das emissões de COVs da floresta urbana foram de *Quercus rubra* e *Populus alba*. Esses COVs são precursores químicos para a formação de ozono.

#### 4.1.3 Armazenamento e sequestro de carbono

A mudança climática é uma preocupação global. As árvores urbanas podem ajudar a mitigar as mudanças climáticas, sequestrando carbono atmosférico (dióxido de carbono) nos seus tecidos, assim como contribuindo para um menor uso de energia em edifícios e, conseqüentemente, alterando as emissões de dióxido de carbono de fontes de energia baseadas em combustíveis fósseis (ABDOLLAHI *et al.* 2000).

As árvores reduzem a quantidade de carbono na atmosfera, que anualmente tem vindo a crescer. A quantidade de carbono sequestrado anualmente aumenta com o tamanho e a saúde das árvores. O sequestro grosseiro das árvores do

inventário é cerca de 1,455 toneladas métricas de carbono por ano com um valor associado de 234 € (Figura 9).

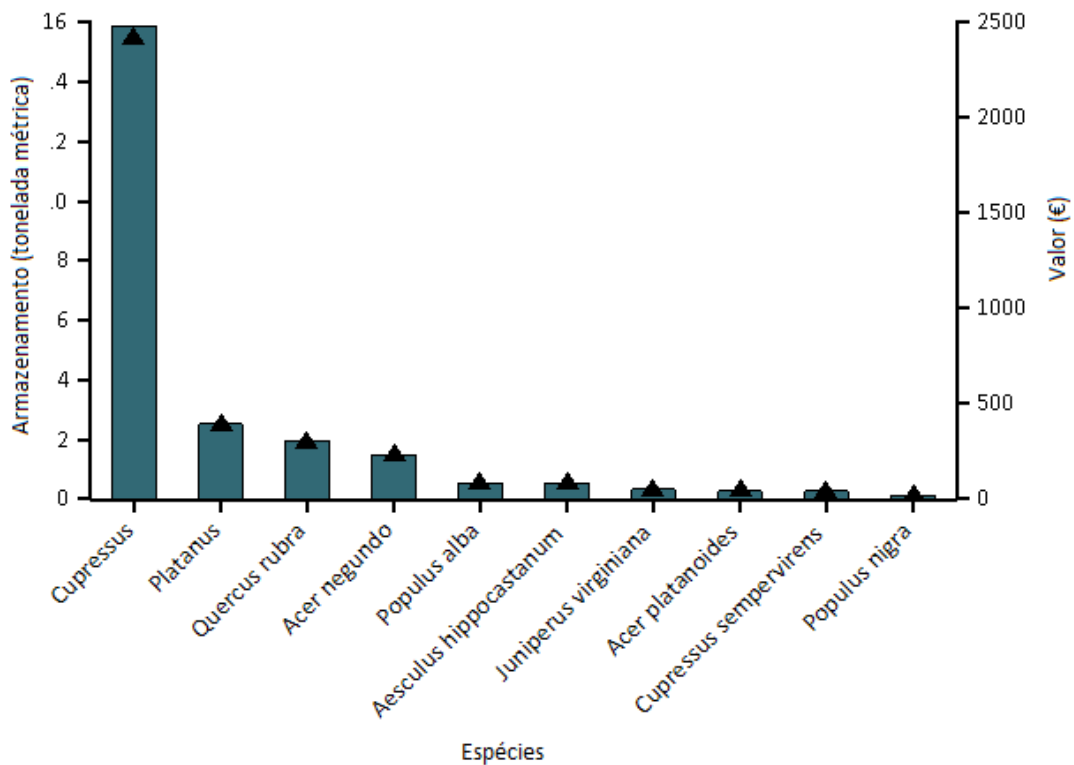


**Figura 9** – Sequestro bruto anual estimado de carbono (pontos) e valor (barras) para espécies de árvores urbanas com a maior sequestração do inventário

O armazenamento de carbono é outra maneira pela qual as árvores podem influenciar a mudança climática global. Conforme uma árvore cresce, ela armazena mais carbono sequestrando-o nos seus tecidos. Conforme uma árvore morre e se decompõe, ela liberta muito do carbono armazenado de volta para a atmosfera. Desse modo, o armazenamento de carbono é uma indicação da quantidade de carbono que pode ser libertado se as árvores chegarem a morrer e se decompor. Manter as árvores saudáveis irá manter o carbono nelas armazenado (NOWAK *et al.* 2002). Quando uma árvore morre, utilizar a madeira e seus produtos a longo prazo, para aquecer edifícios ou para produzir energia ajudarão a reduzir as emissões de carbono da madeira decomposta ou de uma termoelétrica a base de combustível fóssil ou de madeira.

Estima-se que as árvores do inventário armazenam 23,9 toneladas de carbono (3,85 mil euros) por ano. Das espécies amostradas, *Cupressus* armazena e sequestra a maior parte do carbono (aproximadamente 64,5% do carbono total

armazenado e 54% de todo carbono sequestrado) (Figura 10).



**Figura 10** – Estimativa de armazenamento de carbono (ponteiros) e valores (barras) para espécies de árvores urbanas com maior armazenamento do inventário

#### 4.1.4 Produção de oxigénio

A produção de oxigénio é um dos benefícios mais comumente citados das árvores urbanas. A produção anual de oxigénio de uma árvore está diretamente relacionada à quantidade de carbono sequestrado por ela, e está ligada ao seu acúmulo de biomassa.

Estima-se que as árvores do inventário produzem 3,881 toneladas métricas de oxigénio por ano. Porém, este benefício da árvore é relativamente insignificante devido à grande e relativamente estável quantidade de oxigénio na atmosfera e produção extensiva por sistemas aquáticos. A nossa atmosfera possui uma enorme reserva de oxigénio, e portanto, caso todas as reservas de combustíveis fósseis, todas as árvores e toda a matéria orgânica presente nos solos forem queimados, o oxigénio atmosférico cairia apenas numa pequena fração, não superior a uns pontos percentuais. (BROECKER, 1970).

**Tabela 3** - As 20 principais espécies produtoras de oxigênio.

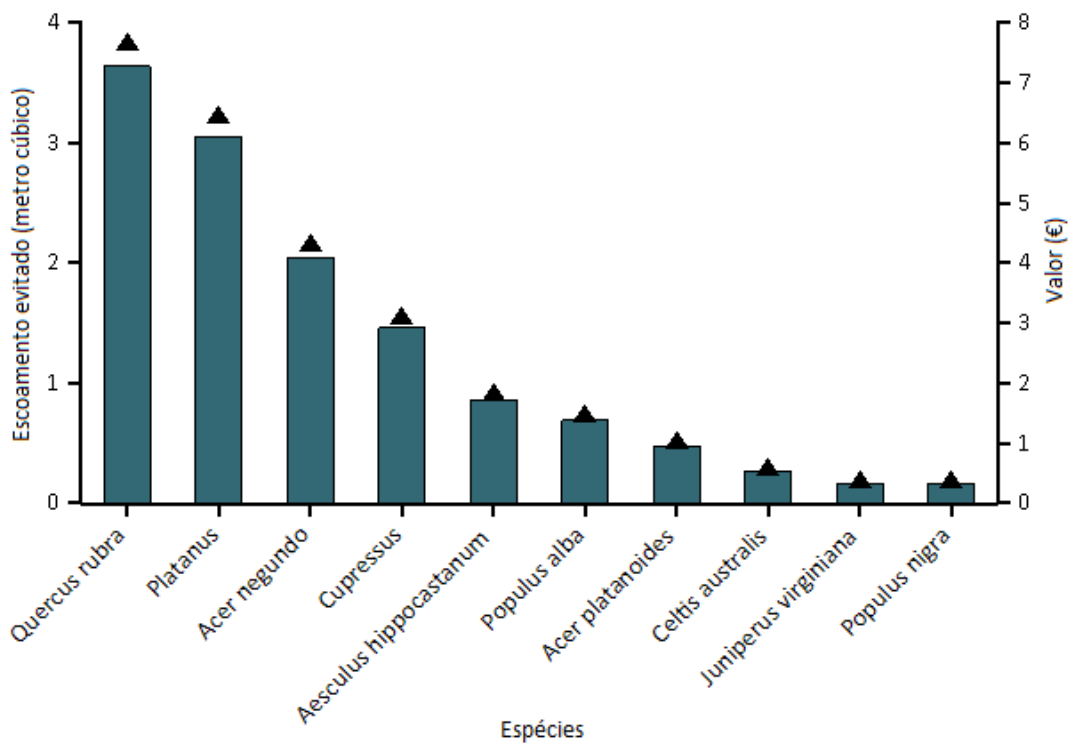
<b>Espécies</b>	<b>Oxigênio (kg)</b>	<b>Sequestro de Carbono Bruto (kg/ano)</b>	<b>Número de Árvores</b>	<b>Área Foliar (ha)</b>
<i>Cupressus</i>	2.097,19	786,44	43	0,00
<i>Quercus rubra</i>	490,35	183,88	41	0,00
<i>Platanus</i>	398,06	149,27	15	0,00
<i>Acer negundo</i>	290,11	108,79	20	0,00
<i>Acer platanoides</i>	108,94	40,85	14	0,00
<i>Populus alba</i>	99,28	37,23	03	0,00
<i>Aesculus hippocastanum</i>	83,58	31,34	05	0,00
<i>Cupressus sempervirens</i>	69,24	25,97	05	0,00
<i>Juniperus virginiana</i>	36,12	13,55	03	0,00
<i>Populus nigra</i>	30,17	11,31	01	0,00
<i>Ligustrum vulgare</i>	26,65	9,99	02	0,00
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>	24,65	9,25	02	0,00
<i>Celtis australis</i>	23,34	8,75	12	0,00
<i>Malus</i>	17,31	6,49	01	0,00
<i>Fagus sylvatica</i>	16,62	6,23	01	0,00
<i>Magnolia</i>	14,50	5,44	03	0,00
<i>Quercus robur</i>	14,09	5,29	02	0,00
<i>Picea pungens</i>	12,72	4,77	01	0,00
<i>Thuja occidentalis</i>	11,32	4,24	02	0,00
<i>Acer pseudoplatanus</i>	11,30	4,24	01	0,00

**Fonte:** i-Tree (2021).

#### 4.1.5 Escoamento evitado

O escoamento superficial pode ser um motivo de preocupação em muitas áreas urbanas, pois pode contribuir com a poluição de riachos, pântanos, rios, lagos e oceanos. Durante os eventos de precipitação, parte dela é interceptada pela vegetação (árvores e arbustos) enquanto a outra parte atinge o solo. A porção da precipitação que atinge o solo e não se infiltra nele torna-se escoamento superficial (HIRABAYASHI, 2013). Em regiões urbanas, a grande extensão de superfícies impermeáveis aumenta a quantidade de escoamento superficial.

Árvores e arbustos urbanos, entretanto, são benéficos para a redução do escoamento superficial, pois o interceptam, enquanto seus sistemas radiculares promovem infiltração e armazenamento no solo. Estima-se que as árvores do inventário ajudem a reduzir o escoamento em cerca de 14,2 metros cúbicos por ano com um valor associado de 27 € (Figura 11). O escoamento evitado é estimado com base no clima local designado pela estação meteorológica. No inventário, a precipitação total anual em 2015 foi de 33 centímetros.

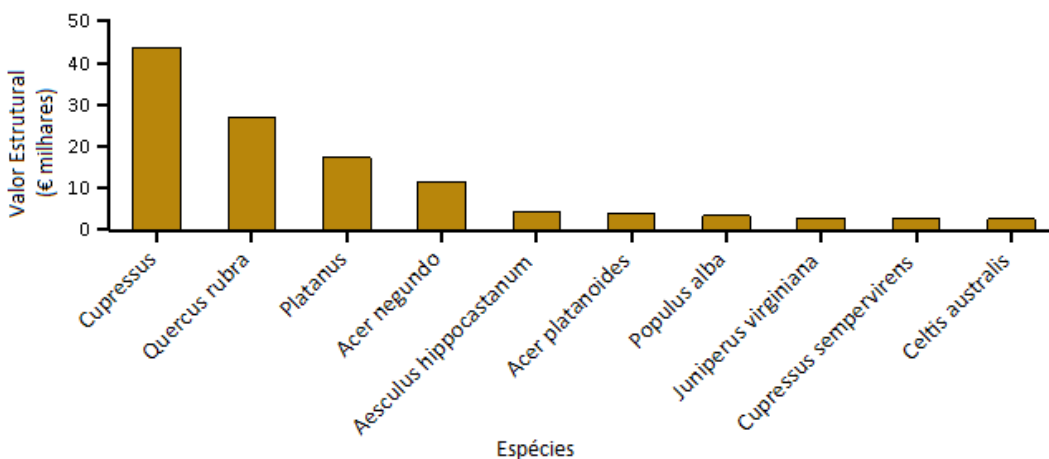


**Figura 11** – Escoamento evitado (pontos) e valor (barras) para espécies com maior impacto geral no escoamento do inventário

#### 4.1.6 Valores Estruturais e Funcionais

As florestas urbanas possuem um valor estrutural baseado nas próprias árvores (por exemplo, o custo de ter que substituir uma árvore por uma árvore semelhante); elas também possuem valores funcionais (positivos ou negativos) com base nas funções que as árvores executam.

O valor estrutural de uma floresta urbana tende a aumentar com o aumento da quantidade e tamanho de árvores saudáveis (DAVID, 2002). Os valores funcionais anuais também tendem a aumentar com o aumento do número e tamanho de árvores saudáveis. Por meio do manejo adequado, os valores das florestas urbanas podem ser aumentados; no entanto, os valores e benefícios também podem diminuir à medida que diminui a quantidade de cobertura de árvores saudáveis. As árvores urbanas inventariadas possuem os seguintes valores estruturais: valor estrutural: 128 mil euros (Figura 12), armazenamento de carbono: 3,85 mil euros. As árvores urbanas do inventário possuem os seguintes valores funcionais anuais: sequestro de carbono: 234 €, escoamento evitado: 27 €, remoção da poluição: 234 € e custos de energia e valores de emissão de carbono: 0 € (Nota: valor negativo indica aumento do custo de energia e do valor de emissão de carbono).

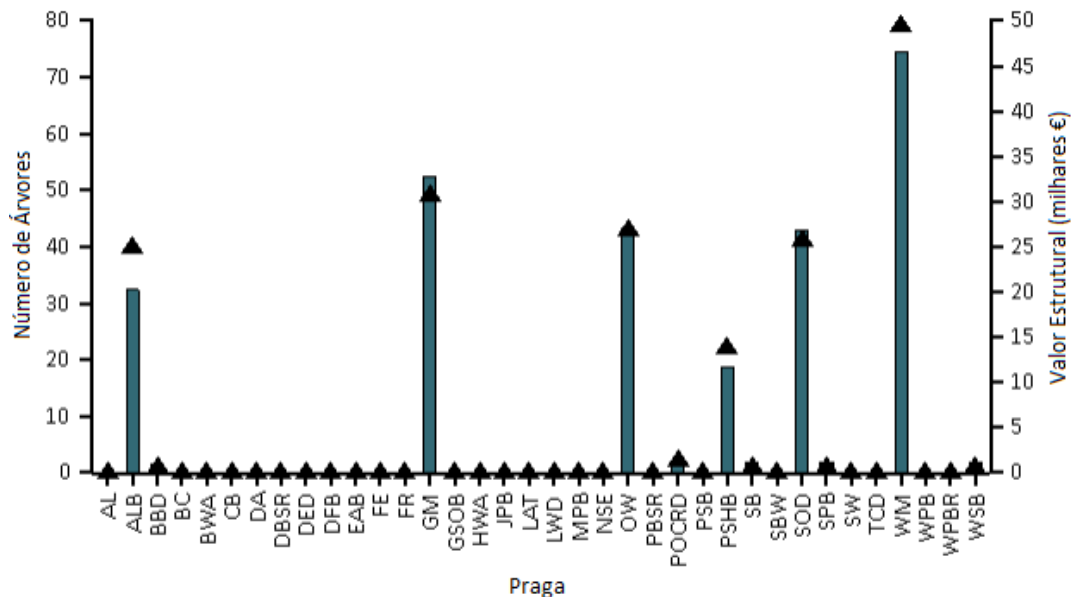


**Figura 12** – Espécies de árvores com maior valor estrutural do inventário

#### 4.1.7 Potenciais impactes de pragas

Vários insetos e doenças podem infestar florestas urbanas, potencialmente matando e reduzindo a saúde, o valor estrutural e a sua

sustentabilidade. Como as pragas tendem a ter diferentes impactos para as diferentes composições de espécies de árvores, o dano potencial ou o risco de cada praga será diferente entre as cidades. Trinta e seis pragas foram analisadas quanto ao seu impacto potencial e a única que pode existir em Portugal é a *Gypsy Moth* (27,5 %) (Figura 13).



**Figura 13** – Número de árvores em risco (ponts) e valor compensatório associado (barras) por pragas potenciais do inventário

A *Gypsy Moth* (GM) (NORTHEASTERN AREA STATE AND PRIVATE FORESTRY, 2005) é um desfolhador que se alimenta de muitas espécies podendo causar até a morte de árvores se as condições do surto durarem vários anos. Esta praga ameaça 27,5 % da população, o que representa uma perda potencial de 32,7 mil euros em valor estrutural.

## 5 CONCLUSÃO E PERSPETIVAS FUTURAS

A partir dos resultados pode-se confirmar que o software i-Tree, apresenta uma simulação de dados para determinar os efeitos e valores da floresta urbana como: remoção da poluição do ar por árvores urbanas, armazenamento e sequestro de carbono, produção de oxigénio, escoamento evitado, valores estruturais e funcionais e potenciais impactes de pragas, para as árvores da zona industrial de Bragança. A coleta dos dados opcionais porém altamente recomendados, além dos mínimos requeridos, deram abrangência aos resultados, demonstrando que esta vegetação urbana contribui para a diminuição da poluição do ar e do escoamento superficial, porém, o aumento da arborização nesta área da cidade potencializaria estes resultados.

A caracterização das árvores da floresta urbana demonstram que o inventário possui 178 árvores com uma cobertura arbórea diversa, onde as três espécies mais comuns são *Cupressus* (24,2 %), *Quercus rubra* (23,0 %) e *Acer negundo* (11,2 %). Os DAPs que mais aparecem variam de 0 a 30,5 cm. Cerca de 1% das árvores são espécies nativas da Europa, a maioria das árvores é originária da América do Norte (39%), as espécies mais dominantes em termos de área foliar são *Quercus rubra*, *Platanus* e *Acer negundo*.

A remoção da poluição pelas árvores que constam do inventário foi estimada tendo em consideração parâmetros recolhidos no campo, dados de poluição recente e dados meteorológicos disponíveis. A remoção da poluição foi maior para o ozono. Estima-se que as árvores removem 13,679 kg de poluição do ar, 12,887 kg de ozono (O<sub>3</sub>), 0,178 kg de monóxido de carbono (CO), 0,372 kg de dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), 0,041 kg de material particulado com menos de 2,5 milímetros (PM<sub>2.5</sub>), e 0,201 kg de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), por ano com um valor económico associado de 233,53 euros (Tabela 2).

No armazenamento e sequestro de carbono, o sequestro grosseiro das árvores do inventário da área de estudo é cerca de 3,805 toneladas de carbono por ano com um valor associado de 611 €.

Estima-se que para a produção de oxigénio, as árvores do inventário armazenam 23,9 toneladas de carbono (3,85 mil euros). Das espécies amostradas, *Cupressus* armazena e sequestra a maior parte do carbono (aproximadamente 64,5% do carbono total armazenado e 54% de todo carbono sequestrado). Estima-se

também que as árvores do inventário produzem 3,881 toneladas métricas de oxigénio por ano.

Referente ao escoamento evitado, as árvores do inventário ajudam a reduzir o escoamento em cerca de 14,2 metros cúbicos por ano com um valor associado de 27 €. A precipitação total anual em 2015 foi de 33 centímetros.

Em valores estruturais e funcionais, as árvores urbanas inventariadas possuem os seguintes valores estruturais: valor estrutural: 128 mil euros, armazenamento de carbono: 3,85 mil euros. As árvores urbanas possuem os seguintes valores funcionais anuais: sequestro de carbono: 234 €, escoamento evitado: 27 €, remoção da poluição: 9234 €.

Nos potenciais impactes de pragas, trinta e seis pragas listadas no i-Tree foram analisadas e a única que pode existir em Portugal é a Gypsy Moth (27,5 %).

Para as perspetivas futuras, considerando os resultados obtidos para a zona industrial, recomenda-se uma comparação dos dados com os dados da zona industrial de Argales, localizada em Valladolid, na Espanha, também objeto do projeto POCTEP INDNATUR.

Adicionalmente, podem-se coletar mais dados, como endereço da árvore, área, situação na rua (parcela pública ou privada), coordenadas do mapa (GPS), energia (construção), manutenção recomendada, conflito de calçada, conflito de utilidade e pragas, para inserção no i-Tree, para que as análises dos mesmos possam dar mais precisão aos resultados.

Pode-se também definir e simular um novo cenário coerente com o proposto à Câmara Municipal de Bragança, acrescentando-lhe melhorias e atentando-se sempre às novas atualizações do i-Tree.

## BIBLIOGRAFIA

- Abdollahi, K. K., Ning, Z. H., & Appeaning, A. (2000). *Global climate change & the urban forest*. Franklin Press.
- Aguiar, F. C., Espírito-Santo, M. D., & Ferreira, M. T. FLORESTAS RIBEIRINHAS.
- Alvarado, O. A. (2019). *Measuring the benefits of urban nature-based solutions through quantitative assessment tools (Master's thesis)*. Parque Ecuador en la ciudad de Concepción.
- Alves, F. M. (2020). *Modelação microclimática no contexto urbano-industrial: um caso da Zona Industrial das Cantarias (Bragança)-Portugal. (Master's thesis)*.
- Ascenso, A., Augusto, B., Silveira, C., Rafael, S., Coelho, S., Monteiro, A., ... & Miranda, A. I. (2020). *Impacts of nature-based solutions on the urban atmospheric environment: a case study for Eindhoven, The Netherlands*. *Urban Forestry & Urban Greening*, 126870.
- Ávila, L. B. (2018). *Instrumento multicritério de análise para a implantação de zonas industriais: variáveis legais, antrópicas e naturais*.
- Barra López, D. (2019). *Análisis del efecto del arbolado urbano sobre la absorción de material particulado respirable (MP2, 5), mediante el software I-Tree Eco al interior del Parque Ecuador en la ciudad de Concepción*.
- Barros, C. O. D. (2011). *Discursos escolares sobre o ciclo do carbono*.
- Baldocchi, D. D., Hicks, B. B., & Camara, P. (1987). *A canopy stomatal resistance model for gaseous deposition to vegetated surfaces*. *Atmospheric Environment* (1967), 21(1), 91-101.
- Baldocchi, D. (1988). *A multi-layer model for estimating sulfur dioxide deposition to a deciduous oak forest canopy*. *Atmospheric Environment* (1967), 22(5), 869-884.
- Berto, R., Stival, C. A., & Rosato, P. (2018). *Enhancing the environmental performance of industrial settlements: An economic evaluation of extensive green roof competitiveness*. *Building and Environment*, 127. 58-68.
- Bessa, D. D. M. (2019). *Ciclo do carbono na floresta amazônica: percepções ambientais de moradores da Reserva Extrativista do Bairro Juruá, Amazônia Ocidental, Brasil*.
- Bidwell, R. G. S., & Fraser, D. E. (1972). *Carbon monoxide uptake and metabolism by leaves*. *Canadian Journal of Botany*, 50(7), 1435-1439.
- BRAGANÇA, C. M. DE. *Breve Panorâmica Histórica*. Bragança.
- Broecker, W. S. (1970). *Man's Oxygen Reserves: Claims that this important resource is in danger of serious depletion are not at all valid*. *Science*, 168(3939), 1537-1538.
- Castillo-Rodríguez, J., Andrés-Doménech, I., Peidro, J. M., García, J. C., & Perales-Momparler, S. (2018). *Gestión sostenible del agua de lluvia como motor de renovación urbana: la experiencia del municipio de Benicàssim (Castellón)*.

- In Proceedings del Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA) (pp. 26-29).
- Connop, S., Nash, C., Elliot, J., Haase, D. Dushkova, D. (2020). Nature-based solution evaluation indicators: Environmental Indicators Review.
- David, J. N. (2002). Compensatory value of urban trees in the United States. *Journal of Arboriculture*, 28(40), 194-199.
- Debele, S. E., Kumar, P., Sahani, J., Marti-Cardona, B., Michovski, S. B., Leo L. S., ... & Di Sabatino, S. (2019). Nature based-solutions for hydro-meteorological hazards: Revised concepts, classification schemes and databases. *Environmental research*, 179, 108799.
- Devecchi, A. M., Chirmici, A. C., Simonetti, C., & Corrêa, T. B. (2021). Desenhando cidades com Soluções baseadas na Natureza. *Parcerias Estratégicas*, 25(50), 217-234.
- Dotto, B. R. (2018). Índice quanti-qualitativo de avaliação da vegetação em setores urbanos.
- Dushkova, D., & Haase, D. (2020). Not simply green: nature-based solutions as a concept and practical approach for sustainability studies and planning agendas cities. *Land*, 9(1), 19.
- I-Tree Eco. (2020, Aug. 3). Retrieved March 12, 2021, from i-Tree Eco: <https://www.itreetools.org/tools/i-tree-eco>
- EUROPEAN COMMISSION. DIRECTORATE-GENERAL FOR RESEARCH AND INNOVATION. Towards an EU research and innovation policy agenda for Nature-Based solutions & Re-Naturing Cities: final report of the Horizon 2020 expert group on ‘Nature-based solutions and re-naturing cities’: (full version). [s.l: s.n]
- Faivre, N. Fritz, M., Freitas, T., de Boissezon, B., & Vandewoestijne, S. (2017). Nature-Based Solutions in the EU: Innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. *Environmental research*, 159, 509-518.
- Fraga, R. G. (2020). Soluções baseadas na natureza: elementos para a tradução do conceito às políticas públicas brasileiras.
- Frantzeskaki, N. (2019). Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. *Environmental science & policy*, 93, 101-111.
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2011). Component-based development and sensitivity analyses of an air pollutant dry deposition model. *Environmental Modelling & Software*, 26(6), 804-816.
- Hirabayashi, S., Kroll, C. N., & Nowak, D. J. (2012). i-Tree eco dry deposition model descriptions. Citeseer.
- Hirabayashi, S. (2011). Urban forest effects-Dry deposition (UFORE-D) model enhancements. Citeseer.
- Hirabayashi, S. (2013). i-Tree Eco precipitation interception model descriptions. US

Department of Agriculture Forest Service: Washington, DC, USA, 1, 0-21.

- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., ... & Bonn, A. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and Society*, 21(2).
- Kooijman, E. D., McQuaid, S., Rhodes, M. L., Collier, M. J., & Pilla, F. (2021). Innovating with nature: from nature-based solutions to nature-based enterprises. *Sustainability*, 13(3), 1263.
- Largo, R. Eduardo Pagel Floriano.
- Lovett, G. M. (1994). Atmospheric deposition of nutrients and pollutants in North America: an ecological perspective. *Ecological Applications*, 4(4), 629-650.
- Menezes, G. D. O., Gonçalves, A., Ribeiro, A. C., Feliciano, M., & Bineli, A. R. (2017). Análise do efeito de ilha de calor urbano na cidade de Bragança.
- Moreira-Romero, Á. F. (2018). Contaminación del aire en el medio ambiente por las emisiones de gases tóxicos de empresas industriales en Ecuador. *Polo del Conocimiento*, 3(7), 299-306.
- Murray, F. J., Marsh, L., & Bradford, P. A. (1994). New York State energy plan, Vol. II: issue reports. Albany, NY: New York State Energy Office, 175-194.
- Northeastern Area State and Private Forestry. 2005. Gypsy moth digest. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Dwyer, J.F. 2002a. Compensatory value of urban trees in the United States. *Journal of Arboriculture*. 28(4): 194 - 199.
- Nowak, D.J.; Crane, D.E.; Stevens, J.C.; Ibarra, M. 2002b. Brooklyn's urban forest. Gen. Tech. Rep. NE-290. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 107 p.
- Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2007). Understanding the benefits and costs of urban forest ecosystems. In *Urban and community forestry in the northeast* (pp. 25-46). Springer, Dordrecht.
- 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., Hirabayashi, S., Bodine, A., Hoehn, R. 2013. Modeled PM2.5 removal by trees in ten U.S. cities and associated health effects. *Environmental Pollution*. 178: 395-402.
- Nowak, D. J., Hoehn, R., & Crane, D. E. (2007). Oxygen production by urban trees in the United States. *Arboriculture & Urban Forestry*. 33 (3): 220-226., 33(3).
- Nowak, D. J., Stevens, J. C., Sisinni, S. M., & Luley, C. J. (2002). Effects of urban tree management and species selection on atmospheric carbon dioxide. *Journal of*

Arboriculture. 28 (3): 113-122., 28(3).

Nowak, D. J. (1994). Atmospheric carbon dioxide reduction by Chicago's urban forest. *Chicago's Urban Forest Ecosystem: Results of the Chicago Urban Forest Climate Project*, 83-94.

Oliveira, B. L. D. (2019). Potencial das árvores urbanas na regulação hídrica em ruas da cidade do Recife–PE (Bachelor's thesis, Brasil).

Pace, R., Bilber, P., Pretzsch, H., & Grote, R. (2018). Modeling ecosystem services for park trees: Sensitivity of i-tree eco simulations to light exposure and tree species classification. *Forests*, 9(2), 89.

PAIVA, W. S. (2018). Sequestro de carbono em um remanescente de floresta densa na Amazônia brasileira.

PORTUGAL, INE. Censo Demográfico, 2011. Disponível em: <[www.ine.pt](http://www.ine.pt)>. Acesso em: 11 mar. 2021.

Presumido, P. H., Gonçalves, A., Feliciano, M., Igrejas, G., & Romero, F. (2018). Projeto Rehabind-qualidade ambiental em áreas industriais transfronteiriças-Mirandela e Zamora (Espanha). In *Livro de Atas da Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa (Vol. 3, pp. 21-24)*. Universidade de Aveiro.

Raymond, C. M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M. R., ... & Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, 77, 15-24.

Ruiz Chamorro, J. A. (2021). Control integrado de *Austrocylindropuntia floccosa* (Salm-Dyck) Ritter, 1981. en los pastizales altoandinos del Departamento de Pasco, Perú.

Santamaria-Ulecia, J. M., Ariño-Plana, A. H., León-Anguiano, B., Llorente, E., Martín, F., Pons-Izquierdo, J. J., ... & Lechón, Y. (2018). Medidas para reducir la exposición de los ciclistas a los principales contaminantes atmosféricos urbanos. Programa LIFE13 ENV/ES/000417.

Scholz, T., Hof, A., & Schmitt, T. (2018). Cooling effects and regulating ecosystem services provided by urban trees—novel analysis approaches using urban tree cadastre data. *Sustainability*, 10(3), 712.

Seybold, S.; Haugen, D.; Graves, A. 2010. Thousand Cankers Disease. Pest Alert. NA-PR-02-10. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Area State and Private Forestry.

Shah, M. A. R., Renaud, F. G., Anderson, C. C., Wild, A., Domeneghetti, A., Polderman, A., ... & Zixuan, W. (2020). A review of hydro-meteorological hazard, vulnerability, and risk assessment frameworks and indicators in the context of nature-based solutions. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101728.

Song, P., Kim, G., Mayer, A., He, R., & Tian, G. (2020). Assessing the ecosystem services of various types of urban green spaces based on i-tree eco. *Sustainability*, 12(4), 1630.

- Szkop, Z. (2020). Evaluating the sensitivity of the i-Tree Eco pollution model to different pollution data inputs: A case study from Warsaw, Poland. *Urban Forestry & Urban Greening*, 55, 126859.
- Tozer, L., Hörschelmann, K., Anguelovski, I., Bulkeley, H., & Lazova, Y. (2020). Whose city? Whose nature? Towards inclusive nature-based solution governance. *Cities*, 107, 102892.
- van Essen, H.; Schrotten, A.; Otten, M.; Sutter, D.; Schreyer, C.; Zandonella, R.; Maibach, M.; Doll, C. 2011. *External Costs of Transport in Europe*. Netherlands: CE Delft. 161 p.
- Zaa, C. Y. DESAFÍOS PARA LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL PERÚ. LA GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL PERÚ, 285.
- Zinke, P. J. (1967). Forest interception studies in the United States. *Forest hydrology*, 137-161.