

Desenvolvimento de Metodologias de Cálculo de Sequestro de Carbono em Jardins Urbanos

Cátia Alexandra Teixeira Martins

Mestrado em Ciências e Tecnologia do Ambiente
Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território
2023

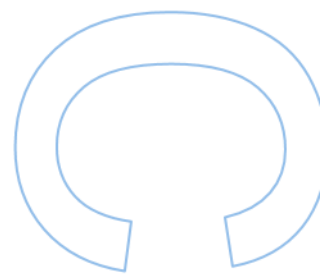
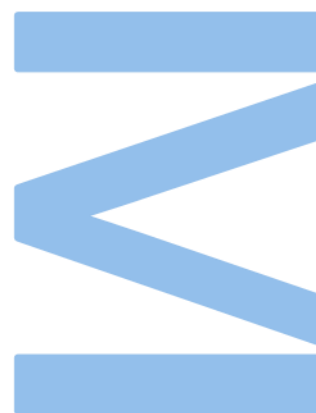
Orientador

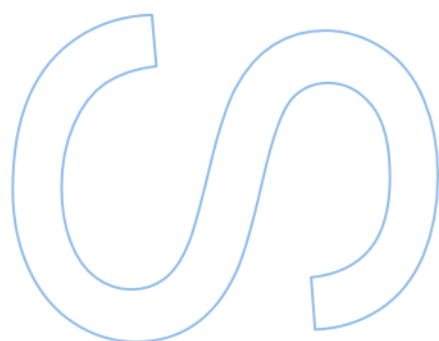
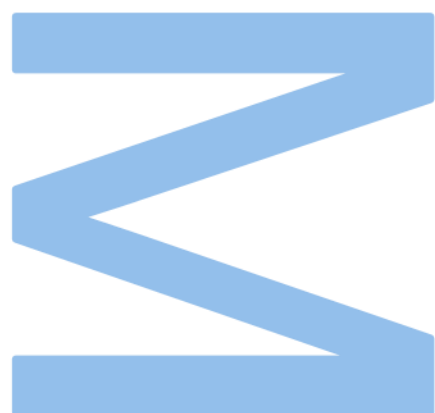
Joaquim Esteves da Silva, Professor Catedrático, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Coorientador

Luís Pinto da Silva, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

Helena Isabel da Costa Ribeiro, Professor Auxiliar, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto





Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar a minha gratidão para com o meu orientador Joaquim Esteves da Silva por proporcionar esta oportunidade de participar num projeto com uma temática bastante atual, interessante e cativante, que fundamentou esta dissertação.

Gostaria de aproveitar esta oportunidade para expressar a minha profunda gratidão para com os coorientadores Luís Silva e Helena Ribeiro, por toda a orientação, apoio e conhecimento partilhado durante a elaboração deste trabalho. As sugestões e críticas construtivas contribuíram e impulsionaram significativamente o aperfeiçoamento de conteúdos e das metodologias utilizadas.

Não posso deixar de mencionar os meus colegas e amigos que se demonstraram presentes e disponíveis para o que fosse necessário durante este percurso académico e que, direta ou indiretamente contribuíram para a execução desta dissertação.

Um agradecimento especial aos meus familiares cujo amor, incentivo e apoio incondicional me motivaram de forma a superar os desafios e a alcançar os meus objetivos académicos. Agradeço pela partilha de ideias e pelo apoio dado, ao longo desta jornada académica.

Por fim, expresso a minha gratidão para com todos os professores, colegas de curso e demais pessoas que, de alguma forma, contribuíram para o meu crescimento pessoal e académico, ao longo deste percurso.

Resumo

Os jardins urbanos desempenham um papel importante devido ao fornecimento de valiosos serviços de ecossistemas para os cidadãos, incluindo uma grande proporção de espaços verdes, que pode armazenar quantidades consideráveis de carbono tanto no solo como na biomassa vegetal ¹. Embora esta temática de sequestro de carbono seja atual e recorrente, carece ainda de estudos aprofundados e diversificados.

Esta dissertação teve como objetivo o desenvolvimento de metodologias de cálculo do potencial de sequestro de carbono, implementadas num jardim urbano da cidade do Porto - Parque Alameda de Cartes, especificamente na biomassa de árvores e no solo, com base na aplicação de equações alométricas. Foram recolhidas várias amostras de solo em diferentes locais do parque, incluindo amostras de uma horta comunitária, e realizaram-se medições laboratoriais de algumas propriedades do solo, sendo posteriormente estimada a quantidade de carbono sequestrado nas árvores e no solo.

Foram conduzidas três estimativas para o sequestro de carbono nas árvores, cada uma representando uma perspetiva distinta: uma visão mais otimista, uma visão média e uma visão mais pessimista, de acordo com os valores utilizados para determinar o sequestro de carbono. Realizou-se o cálculo do potencial de sequestro no jardim do Parque Alameda de Cartes, de forma a determinar os valores atuais antes da intervenção de reestruturação do jardim, durante a mesma e previsões futuras do potencial anual de sequestro de carbono neste local.

Assim como qualquer parque urbano, o Parque Alameda de Cartes contribui para o sequestro de carbono no solo total, tendo em conta uma visão média, de cerca de 1600 toneladas de dióxido de carbono equivalente (451 toneladas de dióxido de carbono equivalente por hectare). Antes da intervenção, o solo deste parque possui um potencial de sequestro de 8 toneladas de dióxido de carbono equivalente por ano e as árvores presentes, sequestraram cerca de 420 toneladas de dióxido de carbono equivalente. Estes valores são os valores médios das estimativas sendo também realizados cálculos utilizando valores máximos e valores mínimos.

Após a intervenção projetada (remoção, adição e preservação de árvores), o potencial de sequestro de carbono anual toma um valor de 20 toneladas de dióxido de carbono equivalente, num cenário positivo e 9 toneladas de dióxido de carbono equivalente, num cenário mais conservador sendo que são necessários sete anos, no cenário positivo,

após a realização deste projeto para que os valores de sequestro de carbono voltem aos níveis estimados antes da intervenção, e dezasseis anos no cenário negativo.

O desenvolvimento de metodologias de cálculo de sequestro de carbono neste jardim urbano proporcionou verificar que ao longo do tempo, com o crescimento das árvores e a implementação de medidas/estratégias potenciadoras do sequestro de carbono no solo, prevê-se o aumento de sequestro de carbono, neste parque.

Palavras-chave: árvores, carbono, dióxido de carbono equivalente, jardim, parque, sequestro de carbono, solo.

Abstract

Urban gardens play an important role by providing valuable ecosystem services to citizens, including a significant amount of green spaces that can store substantial amounts of carbon both in the soil and in the vegetative biomass. Although the theme of carbon sequestration is current and recurrent, it still lacks in-depth and diverse studies.

This dissertation aimed to develop methodologies for calculating the carbon sequestration potential implemented in an urban garden in the city of Porto – Parque Alameda de Cartes, specifically focusing on tree biomass and soil, based on the application of allometric equations. Various soil samples were collected from different locations in the park, including samples from a community garden. Laboratory measurements of some soil properties were conducted, and subsequently, the amount of carbon sequestered in both trees and soil was estimated.

Three carbon sequestration estimates were conducted, each representing a distinct perspective: a more optimistic view, an average view, and a more pessimistic view. Each of these estimates covered a range of scenarios and considerations to address a comprehensive range of possibilities and uncertainties associated with the studied topic. The calculation of the sequestration potential in the Parque Alameda de Cartes Garden was carried out to determine current values before the garden restructuring intervention, during the intervention, and future predictions of the annual carbon sequestration potential at this location.

Just like any urban park, Parque Alameda de Cartes contributes to total soil carbon sequestration, considering an average perspective of approximately 1600 tons of carbon dioxide equivalent (451 tons of carbon dioxide equivalent per hectare). Before the intervention, the soil in this park has a sequestration potential of 8 tons of carbon dioxide equivalent per year, and the existing trees sequestered around 420 tons of carbon dioxide equivalent. These values represent the average estimates, and calculations were also performed using maximum and minimum values.

After the planned intervention (removal, addition, and preservation of trees), the annual carbon sequestration potential reaches 20 tons of carbon dioxide equivalent in a positive scenario and 9 tons of carbon dioxide equivalent in a more conservative scenario. It will take seven years, in the positive scenario, after the completion of this project for carbon sequestration values to return to the estimated levels before the intervention, and sixteen years in the negative scenario.

The development of carbon sequestration calculation methodologies in this urban garden has shown that over time, with the growth of trees and the implementation of measures/strategies that enhance carbon sequestration in the soil, an increase in carbon sequestration in this park is expected.

Keywords: trees, carbon, carbon dioxide equivalent, garden, park, carbon sequestration, soil.

Índice

Lista de Tabelas	8
Lista de Figuras	9
Lista de Abreviaturas	10
1. Introdução	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Estrutura da Dissertação	2
2. Estado da Arte	4
2.1. Neutralidade Carbónica	4
2.2. Sequestro de Carbono	6
2.3. Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050	7
2.4. Parque Urbano - Sumidouro de Carbono	12
2.4.1. Biomassa Vegetal	12
2.4.2. Solo	14
3. Parque Alameda de Cartes	17
3.1. Descrição do local	17
4. Parte Experimental - Descrição de Procedimentos	19
4.1. Análise de Solos	19
4.1.1. Condutividade elétrica	20
4.1.2. pH	21
4.1.3. Nitratos	21
4.1.4. Matéria Orgânica no Solo	22
4.2. Potencial de Sequestro de Carbono no Solo	23
4.3 Potencial de Sequestro de Carbono nas Árvores	24
4.3.1. Potencial de Sequestro de Carbono Anual	28
5. Resultados e Discussão	30
5.1. Análise dos Solos	30
5.1.1. Condutividade Elétrica	30

5.1.2. pH	31
5.1.3. Nitratos	32
5.1.4. Matéria Orgânica no Solo	33
5.2. Potencial de Sequestro de Carbono no Solo	35
5.2.1. Sequestro Atual	35
5.2.2. Sequestro Anual	36
5.3. Potencial de Sequestro de Carbono nas Árvores	37
5.3.1. Potencial de Sequestro de Carbono Atual	37
5.3.2. Potencial de Sequestro de Carbono Eliminação de Espécies	38
5.3.3. Sequestro de Carbono Anual após Plantação de Novas Espécies	39
5.3.4. Previsões Futuras	43
6. Conclusão	45
Referências Bibliográficas	46
Anexo 1 – Figura	53
Anexo 2 – Coordenadas Geográficas	53
Anexo 3 – Condutividade Elétrica	54
Anexo 4 – pH	56
Anexo 5 – Matéria Orgânica	58

Lista de Tabelas

Tabela 1: Lista com número de espécies de árvores a plantar e a preservar, durante a intervenção.....	17
Tabela 2: Lista com número de árvores a eliminar, durante a intervenção.....	18
Tabela 3: Designação das áreas de amostragem, datas de recolha de amostras, área, a designação das amostras e a profundidade a que foram recolhidas.....	19
Tabela 4: Condutividade elétrica, pH, matéria orgânica e respetivos desvios-padrão (D.P.) das amostras.....	30
Tabela 5: Quantidade de nitratos presentes nas amostras a 20 cm de profundidade (*L.D – Limite de Detecção).....	32
Tabela 6: Percentagem Matéria orgânica e carbono orgânico no solo e respetivos desvios-padrão.....	33
Tabela 7: Massa Volumétrica e áreas de cada zona do parque.....	35
Tabela 8: Quantidade de CO ₂ eq (ton) sequestrado pelo solo das diferentes áreas do parque.....	36
Tabela 9: Grupos de árvores presentes no parque antes da intervenção e quantidade de carbono sequestrado (em ton CO ₂ eq).....	37
Tabela 10: Espécies de árvores a preservar e eliminar e seu potencial de sequestro de carbono.....	38
Tabela 11: Potencial de sequestro de carbono anual nas diferentes espécies de árvores a preservar e a plantar.....	40
Tabela 12: Sequestro de carbono anual dos grupos de árvores a preservar e a plantar.....	41
Tabela 13: Coordenadas geográficas de cada ponto de amostragem.....	53
Tabela 14: Medições da Condutividade Elétrica para as duas réplicas de cada amostra.....	54
Tabela 15: Condutividade elétrica média das amostras em cada área de estudo.....	55
Tabela 16: Valores médios do pH nas diferentes áreas do parque com profundidades variáveis.....	56
Tabela 17: Valores de pH para cada amostra com respetiva média e desvio-padrão.....	56
Tabela 18: Percentagem de Matéria Orgânica no solo.....	58
Tabela 19: Percentagem de carbono orgânico no solo em todas as amostras.....	59
Tabela 20: Percentagem de carbono orgânico no solo nas áreas do parque.....	60

Lista de Figuras

Figura 1: Ciclo do Carbono ¹⁶	7
Figura 2 : 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 de DS ¹¹ . ..	11
Figura 3: Parque Alameda de Cartes com as diferentes áreas delimitada e os respetivos pontos de amostragem.	18
Figura 4: Sonda de amostragem portátil.	20
Figura 5: Sacos de armazenamento de determinadas amostras. Estas duas amostras são do mesmo local com diferentes profundidades, sendo notável a diferença de cor.	20
Figura 6: CRISON GLP31: Medidor Condutividade Elétrica.....	21
Figura 7: Medidor de pH e placa agitadora	21
Figura 8: Filtração das amostras de solo.	21
Figura 9: HI 83200: Fotómetro multiparâmetros de bancada.	22
Figura 10: Potencial de Sequestro de Carbono com escala temporal de 1, 5, 10 e 20 anos.....	43
Figura 11: Recolha de amostras de solo.....	53

Lista de Abreviaturas

C	CARBONO
CE	CONDUTIVIDADE ELÉTRICA
CELE	COMÉRCIO EUROPEU DE LICENÇAS DE EMISSÕES
COS	CARBONO ORGÂNICO DO SOLO
CO ₂	DIÓXIDO DE CARBONO
DAP	DIÂMETRO À ALTURA DO PEITO
DP	DESVIO-PADRÃO
DS	DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
GEE	GASES COM EFEITO DE ESTUFA
Gt	GIGATONELADAS
kg	QUILOGRAMAS
LD	LIMITE DE DETEÇÃO
MO	MATÉRIA ORGÂNICA
MOS	MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO
ODS	OBJETIVOS DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
PAP	PERÍMETRO À ALTURA DO PEITO
PNEC	PLANO NACIONAL ENERGIA E CLIMA
RNC50	ROTEIRO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA 2050
RPM	ROTAÇÕES POR MINUTO
SIG	SISTEMA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
Ton/ha/ano	TONELADAS POR HECTARE POR ANO
UE	UNIÃO EUROPEIA
°C	GRAUS CELSIUS
μS/cm ²	MICROSIEMENS

1. Introdução

Uma das problemáticas atuais mais conhecidas são as alterações climáticas, representando um obstáculo ao desenvolvimento sustentável, causando condições meteorológicas extremas e aumentando a frequência das mesmas.

Certos gases, presentes na atmosfera, possuem a capacidade de absorção de radiações provocando um aumento da temperatura do nosso planeta. O dióxido de carbono é um dos gases que potencia o aquecimento global e, como existe uma grande quantidade deste composto na atmosfera, é imprescindível o estudo e potenciação de métodos de sequestro de carbono de forma a mitigar as alterações climáticas e os seus efeitos nefastos.

O carbono é um elemento onnipresente, indispensável à vida, existindo em todos os sistemas e nas interações dos mesmos, fluindo ciclicamente. Os sumidouros de carbono são locais capazes de armazenar este composto, onde as absorções do mesmo são maiores do que as emissões. O solo e a vegetação arbórea, armazenam o carbono sob a forma de, respetivamente, matéria orgânica e biomassa vegetal, sendo de grande interesse quantificar o sequestro deste composto em jardins urbanos, devido a estes compreenderem dois dos maiores sumidouros de carbono².

Os parques urbanos desempenham um papel significativo nas áreas urbanas, ocupando uma parcela considerável das áreas verdes nessas regiões. Além disso, a tendência é que a área de parques urbanos aumente devido ao crescimento das cidades e à busca dos cidadãos por uma melhor qualidade de vida. Portanto, é fundamental compreender como o ciclo do carbono opera nesses parques urbanos, pois isso pode desempenhar um papel crucial na redução das emissões de gases de efeito estufa³.

Um dos desafios intrínsecos à abordagem desta temática reside na dificuldade em quantificar de maneira sistemática e precisa o potencial de armazenamento de carbono em parques urbanos, tanto em termos de biomassa vegetal quanto no solo. Essa complexidade decorre da influência significativa que fatores externos sobre o valor do sequestro de carbono nesses ecossistemas⁴.

Esta problemática assume relevância substancial, uma vez que a determinação do potencial de sequestro de carbono em jardins é crucial para avaliar e classificar a capacidade desses espaços de atuarem como sumidouros de carbono. A compreensão desses valores é fundamental para traçar estratégias eficazes de mitigação das emissões de gases de efeito estufa e para alcançar metas de neutralidade de carbono

no futuro. Em essência, o presente estudo fornece uma perspectiva valiosa sobre os possíveis valores do potencial de sequestro de carbono no Parque Alameda de Cartes e a metodologia adotada pode ser utilizada no futuro, noutros estudos com características semelhantes de forma a fornecer dados quantitativos do potencial de sequestro de outros sumidouros de carbono.

1.1. Objetivo

O propósito primordial deste estudo consiste no desenvolvimento de uma metodologia de cálculo do potencial de sequestro de carbono, tanto na biomassa arbórea quanto no solo, e aplicar essa metodologia de forma a calcular o sequestro de carbono no Parque Alameda de Cartes, em duas fases distintas: antes da realização de intervenções no parque e após a conclusão das mesmas. Além disso, este estudo tem como objetivo realizar estimativas relativas à capacidade de sequestro de carbono em diferentes horizontes temporais, abrangendo os próximos 1, 5, 10 e 20 anos. É importante notar que todos os valores relacionados ao sequestro de carbono estão expressos em toneladas de dióxido de carbono equivalente para permitir uma análise comparativa consistente.

Nesse contexto, na determinação do potencial na biomassa das árvores serão delineados três cenários distintos para o estudo: o cenário otimista, o cenário médio e o cenário pessimista. Cada um desses cenários oferecerá perspectivas diferentes em relação ao potencial de sequestro de carbono com base em fatores variáveis, permitindo uma abordagem abrangente e completa da avaliação do impacto das intervenções no sequestro de carbono no parque, ao longo do tempo.

1.2. Estrutura da Dissertação

Esta Dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos distintos, cada um abordando tópicos relacionados com o sequestro de carbono e outros aspetos relevantes. O primeiro capítulo concentra-se na introdução, no objetivo desta dissertação e a estruturação dada. O segundo capítulo aborda a temática da neutralidade carbónica, o sequestro de carbono, mais especificamente nos jardins urbanos examinando o processo de sequestro de carbono na biomassa vegetal e no solo, e estabelece uma relação com o Roteiro para a Neutralidade Carbónica abordando também o plano para atingir a neutralidade carbónica até 2050.

O terceiro capítulo introduz a área de estudo em questão e delinea os objetivos deste projeto. O quarto capítulo, refere-se à parte experimental, oferece uma visão abrangente dos procedimentos e metodologias empregados para realizar análises detalhadas dos solos e das árvores estudadas. Foram realizados cálculos para estimar o futuro potencial de sequestro de carbono pelas árvores neste parque, considerando os três perspectivas mencionadas anteriormente. Essas projeções foram baseadas em dados obtidos de duas fontes distintas, que foram categorizadas como um cenário positivo e outro negativo.

No quinto capítulo, apresentam-se os resultados obtidos e conduz-se uma discussão relativamente a esses dados. Por fim, o sexto e último capítulo é dedicado à conclusão do estudo, onde são resumidos os principais resultados e destacadas as principais descobertas e contribuições desta pesquisa para o tema do sequestro de carbono e sua importância para atingir a neutralidade carbónica.

2. Estado da Arte

2.1. Neutralidade Carbónica

Atualmente, os países concentram-se cada vez mais em como as variáveis económicas podem incluir as metas de neutralidade carbónica de forma eficiente, recorrendo às energias renováveis, mudanças estruturais e implementação de impostos ambientais ⁵.

Entre os diferentes métodos de negociação de emissões de dióxido de carbono (CO₂), os mais relevantes são os créditos de carbono, o comércio de carbono e os mercados de carbono. Um crédito de carbono é um certificado negociável que representa o direito de emitir uma tonelada de CO₂ ou uma quantidade equivalente deste composto. O comércio de carbono, por sua vez, permite que indústrias com dificuldade em reduzir as emissões de CO₂, comprem créditos de indústrias que já excederam as suas metas de redução. A criação dos créditos de carbono despertou a ideia de atingir um consenso entre nações, concordando negociar esses créditos, impulsionando a assinatura de acordos há quase uma década ⁶.

Apesar do interesse despertado pela interligação entre energia, meio ambiente e crescimento económico, a questão da sustentabilidade ambiental, tema de importância global, é ainda alvo de investigação. A adoção de energias renováveis, avanços tecnológicos visando a sustentabilidade e mecanismos de regulamentação política podem desempenhar um papel crucial na redução das emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade ambiental ⁷.

A expansão das áreas urbanas tende a causar alterações nos ecossistemas, prejudicando as suas funções e colocando em risco o bem-estar humano. No entanto, quando a natureza é integrada, de forma adequada, na paisagem urbana, é possível enfrentar, de forma prática, os desafios ambientais das cidades, especialmente aqueles relacionados com as alterações climáticas e a degradação dos ecossistemas ¹.

As cidades produzem um impacto significativo no ciclo global do carbono, sendo responsáveis por uma grande quantidade de emissões de CO₂, contudo, detêm a capacidade de sequestrar e armazenar carbono nas florestas urbanas e espaços verdes, incluindo jardins urbanos. Um dos desafios relacionados com esta temática passa pela dificuldade de calcular com precisão a quantidade de carbono sequestrado pelos espaços verdes urbanos e considerar as emissões envolvidas nesse processo ¹.

A União Europeia tenciona desenvolver uma política climática ambiciosa e no âmbito do Pacto Ecológico Europeu pretende eliminar todas as emissões de CO₂ que foram produzidas, até 2050, sendo o primeiro continente a alcançar tal meta. Esta tenção tornou-se juridicamente vinculativa com a adesão, por parte do Conselho e Parlamento Europeu, à Lei do Clima em 2021 ⁸.

Atualmente, a União Europeia prossegue à revisão e atualização da legislação existente, de forma a estabelecer novas leis que impulsionem o cumprimento dos objetivos propostos para 2030, tendo como objetivo a eliminação de 55% das emissões de dióxido de carbono. Essa legislação, conhecida como "Fit for 55", abrange uma série de regras relacionadas com o comércio de emissões, metas nacionais de redução, remoção de carbono no setor de uso do solo, emissões no setor de transporte, entre outros temas relevantes ⁹.

Neutralidade carbónica acaba por definir o ponto de equilíbrio onde o balanço é neutro ou nulo entre as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) e o seu sequestro da atmosfera. Atingir este ponto de equilíbrio é o objetivo estabelecido pelo Roteiro Nacional para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050) assim como, diminuir as emissões atuais de GEE e aumentar a capacidade de sequestro de carbono dos sumidouros naturais.

A busca pela Neutralidade Carbónica é também um dos propósitos fundamentais do Acordo de Paris, o qual foi assinado por 195 nações. O acordo visa estabelecer um limite para o aumento da temperatura global, mantendo-o abaixo de 2°C em relação ao ano de 1900, procurando também evitar que a elevação média da temperatura ultrapasse 1,5°C. O objetivo é mitigar os efeitos das mudanças climáticas e minimizar os impactos negativos associados ¹⁰.

Uma parte significativa da resposta aos desafios das mudanças climáticas reside no uso de fontes de energia renovável, na melhoria da eficiência e circularidade, na utilização de recursos e no fortalecimento dos sumidouros de carbono ¹¹.

A promoção da circularidade e eficiência na economia possibilita o alcance de resultados mais significativos com menos recursos, reduzindo o consumo de matérias-primas. O fortalecimento dos sumidouros de carbono terá um impacto extremamente importante na redução da concentração de CO₂ na atmosfera e na regulação climática

2.2. Sequestro de Carbono

O sequestro de carbono refere-se ao processo de captura e armazenamento de CO₂ da atmosfera com o objetivo de reduzir o aquecimento global. Esse processo envolve uma série de etapas em que o carbono libertado, por fontes de emissão em larga escala, é separado, recuperado e armazenado no subsolo ou na biomassa vegetal ¹².

O reservatório ou sumidouro de carbono é qualquer sistema que absorva mais carbono do que a quantidade que emite sendo que, os principais sumidouros de carbono são o solo, as florestas e os oceanos ⁸. A transferência de carbono entre o reservatório terrestre e atmosférico é resultado de processos naturais como a fotossíntese e respiração, além da emissão de gases provenientes das atividades antropogênicas. O sequestro de carbono ocorre através da fotossíntese, processo pelo qual as plantas absorvem energia solar e CO₂ da atmosfera, produzindo oxigênio e carboidratos (como glicose), potenciando o seu crescimento. Este processo permite que as plantas fixem o carbono na biomassa vegetal, formando um stock natural juntamente com os seus resíduos (detritos de origem vegetal). Por outro lado, a respiração das plantas, animais e a decomposição orgânica (respiração bacteriana e fúngica) resultam na libertação de carbono para a atmosfera ¹³.

O carbono presente na biomassa é introduzido no solo através do processo de decomposição, que desempenha um papel fundamental no ciclo do carbono devido aos seus dois subprocessos intimamente relacionados, a mineralização e a humificação. A mineralização é o processo pelo qual as moléculas orgânicas são transformadas em formas inorgânicas que as plantas podem assimilar, enquanto a humificação é o processo que mantém os níveis de matéria orgânica do solo (MOS) ¹⁴. A MOS representa um reservatório substancial de carbono em escala global. A sua acumulação, na qual aproximadamente 58% consiste em carbono, ocorre à medida que o ecossistema se desenvolve, como resultado das interações entre os organismos vivos (por exemplo, autotróficos e heterotróficos) e os fatores ambientais (como temperatura e humidade) ¹⁵.

Estimativas demonstram que a capacidade de remoção dos sumidouros naturais é de cerca de 50% dos gases da atmosfera¹⁶. A [Figura 1](#) apresenta os dados referentes às emissões totais de CO₂ na atmosfera em 2017, juntamente com as informações sobre os sumidouros de carbono e as percentagens correspondentes do potencial de sequestro de carbono.

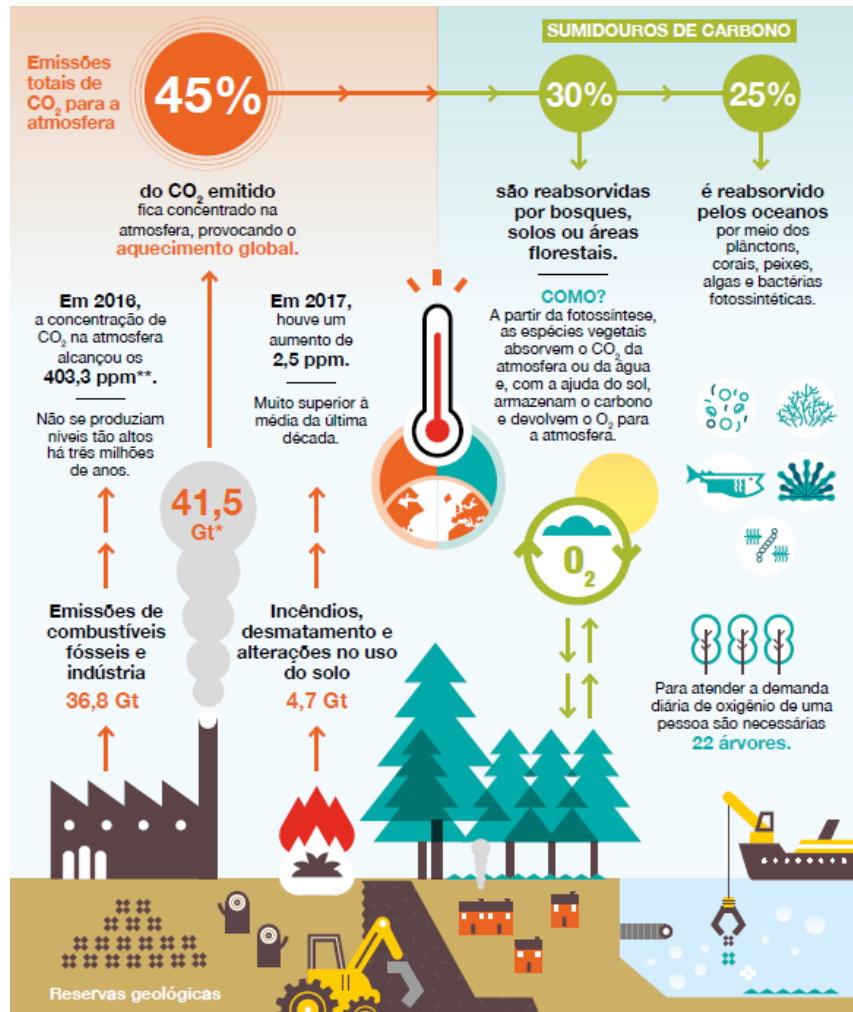


Figura 1: Ciclo do Carbono ¹⁶

2.3. Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050

De forma a limitar o aquecimento global em 1,5°C, limite imposto pelo Painel Intergovernamental sobre as Alterações Climáticas (PIAC), é imperativo atingir a neutralidade carbónica até ao ano de 2050.

Segundo a análise realizada pela Comissão, as políticas e metas já definidas pela União Europeia promovem uma diminuição de aproximadamente 45% das emissões de gases de efeito estufa até 2030 e de cerca de 60% até 2050. No entanto, essas reduções estão consideravelmente abaixo da meta de 80% a 95% nas emissões de gases de efeito estufa que serão necessárias para que a União Europeia alcance a neutralidade de carbono até 2050 e contribua adequadamente para o objetivo, a longo prazo, estabelecido no Acordo de Paris em relação à temperatura ¹¹.

A estratégia da União Europeia desempenha um papel fundamental ao traçar o caminho mais adequado para alcançar a neutralidade de carbono até 2050, de forma a garantir uma transição justa socialmente, eficiente em termos de custos e que promova a participação ativa dos cidadãos. Isto implica uma clara mudança de paradigma em relação aos modelos de produção e consumo, uma nova perspetiva sobre os fluxos financeiros, além de enfatizar a importância da pesquisa, inovação e conhecimento. A estratégia alinha a ação em áreas-chave, incluindo energia - com um foco particular nas energias renováveis e eficiência energética, mobilidade, edifícios, indústria e uma gestão adequada dos recursos agroflorestais ¹¹.

O objetivo de alcançar a neutralidade carbónica engloba equilibrar as emissões de gases de efeito estufa (GEE) com a capacidade de sequestro de carbono e, para atingir esse equilíbrio, será necessário realizar reduções significativas nas emissões e/ou aumentar substancialmente os sumidouros de carbono a nível nacional, no período entre o presente momento e 2050. É importante ressaltar que o compromisso nacional não contempla a utilização de créditos de carbono internacionais como forma de alcançar a meta de neutralidade de carbono¹¹.

Com o objetivo de concretizar essa meta, foi elaborado o Roteiro para a Neutralidade Carbónica 2050 (RNC2050), que identifica as principais áreas de descarbonização em todos os setores da economia, as opções de políticas e medidas, bem como a trajetória de redução de emissões necessária para alcançar esse objetivo, considerando diferentes cenários de desenvolvimento socioeconómico. Todos os setores terão que contribuir para a redução de emissões, através do aumento da eficiência e da inovação, com melhorias específicas em áreas como construções, agricultura, gestão de resíduos e indústria. No entanto, o maior contributo para a redução de emissões será atribuído ao sistema energético, principalmente na produção de eletricidade e no setor de transporte ¹¹.

O RNC2050 foi desenvolvido em conjunto com os trabalhos de preparação do Plano Nacional Energia e Clima (PNEC), que servirá como principal instrumento de política energética e climática para a década de 2021 a 2030. O PNEC estabelecerá as novas metas nacionais de redução de emissões de GEE, de energia renovável e de eficiência energética, alinhadas com o objetivo de alcançar a neutralidade de carbono. Esses dois planos foram elaborados em colaboração para garantir uma abordagem integrada e coerente no cumprimento das metas de sustentabilidade e descarbonização estabelecidas ¹¹.

Atualmente, as políticas públicas relacionadas com as alterações climáticas são consideradas uma parte essencial de várias políticas setoriais em Portugal. Isso significa que em setores como energia e indústria, que são abrangidos pelo Comércio Europeu de Licenças de Emissões (CELE), a questão da pegada de carbono tornou-se uma consideração estratégica e económica para as empresas envolvidas, que estão cada vez mais conscientes do impacto das suas emissões de GEE e estão a incorporar essa dimensão de carbono nas estratégias de negócios ¹¹.

Essa abordagem demonstra que a dimensão ambiental e climática é levada em consideração em conjunto com as considerações estratégicas e económicas, refletindo o compromisso de Portugal em enfrentar as alterações climáticas e construir uma economia mais sustentável. A experiência de Portugal demonstra que políticas climáticas ambiciosas podem ser compatíveis com o crescimento económico, a criação de empregos, a melhoria da saúde das pessoas e a proteção do meio ambiente. Atualmente, o país produz mais riqueza com menos emissões de GEE, o que é um indicador positivo do progresso alcançado. Com isto, pode-se aferir que é possível conciliar o desenvolvimento económico com a redução das emissões e a promoção da sustentabilidade ¹¹.

A transição para uma economia neutra em carbono requer um planeamento oportuno, a longo prazo, que permita aproveitar as oportunidades associadas à transformação económica necessária. É essencial estabelecer uma base de confiança entre todos os cidadãos e agentes económicos, de forma a demonstrar que essa mudança é possível e vantajosa ¹¹.

O RNC2050 permite antecipar as principais tendências futuras e as transformações económicas e sociais necessárias. Abrange todos os setores da economia e da sociedade, de forma a fortalecer a competitividade da economia nacional, promover a criação de empregos e maximizar os benefícios associados, especialmente relacionados à qualidade do ar e saúde humana ¹¹.

Essa transição também deve valorizar o território e contribuir para a coesão nacional, reconhecendo que cada região tem suas particularidades e necessidades específicas. É um processo abrangente que envolve a participação ativa de diferentes setores e partes interessadas, promovendo uma visão compartilhada e um compromisso coletivo rumo a uma economia sustentável e neutra em carbono ¹¹.

A materialização desta visão estratégica é baseada em oito premissas essenciais;

- Fomentar a transição para uma economia competitiva, circular, resiliente e neutra em carbono, com o objetivo de gerar maior riqueza, emprego e bem-estar.
- Identificar os principais vetores de descarbonização e as linhas de atuação necessárias para alcançar trajetórias rumo à neutralidade de carbono até 2050.
- Contribuir para aumentar a resiliência e fortalecer a capacidade nacional de adaptação às vulnerabilidades e impactes das mudanças climáticas.
- Estimular a pesquisa, inovação e produção de conhecimento em áreas-chave para alcançar a neutralidade carbónica.
- Garantir condições adequadas de financiamento e aumentar os níveis de investimento.
- Promover uma transição justa e coesa contribuindo para a valorização do território
- Estabelecer mecanismos eficazes de monitorização do progresso rumo à neutralidade de carbono e garantir a integração dos objetivos nos diferentes setores.
- Envolver a população nesta temática recorrendo a métodos educativos e de sensibilização ¹¹.

É de grande importância destacar que a visão estratégica de alcançar a neutralidade carbónica, com base nas oito premissas acima destacadas, desempenha um papel importante na realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), em particular o ODS 13 - Ação climática. Este objetivo é considerado uma prioridade para Portugal no âmbito da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. O modelo de desenvolvimento proposto nesta visão estratégica também contribuirá para o cumprimento das metas associadas a outros ODS, demonstradas na [Figura 2](#).

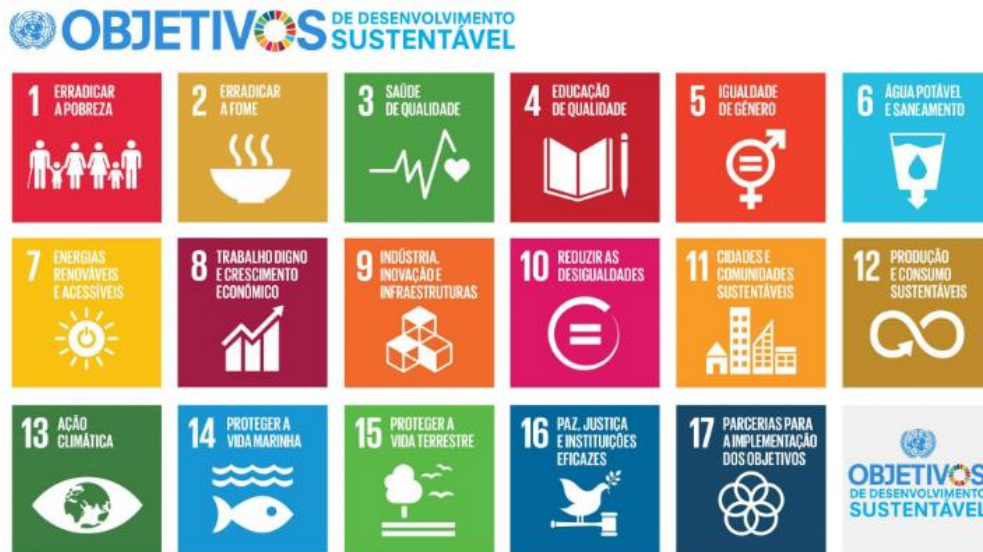


Figura 2 : 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 de DS¹¹.

No ano de 2016, Portugal assumiu o compromisso de atingir a neutralidade carbónica até 2050, na Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, sendo este um objetivo bastante ambicioso. Portugal é reconhecido como um país que possui uma sólida trajetória em políticas climáticas, tendo cumprido os objetivos estabelecidos no âmbito do Protocolo de Quioto¹¹.

Foram definidas metas setoriais específicas para a redução das emissões de GEE. Essas metas foram baseadas no Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050 (RNBC50), que representou o primeiro exercício de modelagem de emissões de longo prazo realizado em Portugal. Nesse roteiro, constatou-se que era possível alcançar reduções nas emissões nacionais entre -50% e -60% em relação a 1990, o equivalente a uma redução de -60% a -70% no setor energético em comparação a 1990. No entanto, é importante constatar que o potencial de redução de emissões modelado na época já foi superado, principalmente devido a um avanço mais rápido das tecnologias do que o inicialmente previsto ¹¹.

Durante o período de 2007 a 2017, Portugal obteve uma média anual de emissões de dióxido de carbono (CO₂) de 69 Mt CO₂, variando entre 54 Mt CO₂ e 74 Mt CO₂. Essas emissões foram divididas entre os diferentes setores da economia, com 25% provenientes da produção de energia, 25% dos transportes, 23% da indústria, 10% da agricultura, 8% de outros usos de energia e 8% dos resíduos ¹¹.

Durante esse período, diversos sumidouros foram responsáveis por absorver cerca de -8,5 Mt CO₂, com uma variação entre -13 Mt CO₂ e +7 Mt CO₂. Em termos percentuais, isso representa aproximadamente -12% das emissões dos demais setores ¹¹.

Atualmente, considerando tanto as emissões quanto os sumidouros, o saldo líquido de emissões é de 60 Mt CO₂ em Portugal. Esse número é importante, pois indica a ordem de grandeza da redução necessária até 2050 para alcançar a neutralidade carbónica¹¹.

Alcançar a neutralidade carbónica representa um conjunto significativo de desafios e oportunidades para a sociedade. A neutralidade carbónica até 2050 é viável tanto economicamente quanto tecnologicamente, e envolve uma redução nas emissões de 85% a 90% até 2050, em comparação com os níveis de 2005, com as emissões restantes sendo compensadas pelos sumidouros proporcionados pelo uso do solo e florestas¹¹.

2.4. Parque Urbano - Sumidouro de Carbono

2.4.1. Biomassa Vegetal

Os parques urbanos arborizados proporcionam uma variedade de benefícios sociais, ambientais e económicos que podem ser quantificados, com um valor significativo para uma cidade ¹⁷. As árvores desempenham um papel duplo, removem o carbono da atmosfera e armazenam o composto na sua biomassa oferecendo, ao mesmo tempo, estabilidade e remediação aos sistemas naturais a partir do aumento da reciclagem de nutrientes e minerais, através de processos bioquímicos. Isso contribui para a mitigação das alterações climáticas, sendo que, o potencial de sequestro de carbono das árvores varia, dependendo de diversos fatores ⁶ tais como, a espécie, a sua idade, localização geográfica e o tipo de solo predominante da área ¹⁸.

As árvores possuem a capacidade de capturar e armazenar efetivamente o carbono atmosférico na sua biomassa, tanto acima quanto abaixo do solo. O carbono é absorvido pelas folhas das árvores e assimilado, sendo armazenado como material rico em carbono, compostos orgânicos como celulose, hemiceluloses, lignina, amido, lipídios e ceras, predominantemente presentes nos tecidos lenhosos secundários dos troncos, nas raízes de grande dimensão, assim como nas folhas e ramos ⁶.

Pode-se aferir que as árvores e florestas urbanas, onde se inclui a arborização de ruas, vias públicas, espaços verdes públicos e privados, destinados ao lazer e contato direto

com a natureza, possuem um potencial significativo para atuar como sumidouros de carbono ¹⁹

Nas áreas urbanas, os impactos no armazenamento de carbono da biomassa vegetal podem ser divididos em impactos diretos e indiretos. Os impactos diretos são causados a partir das mudanças no uso do solo e pela gestão humana. Os impactos indiretos são causados por alterações no ambiente de crescimento das áreas urbanas e podem ser classificados tanto como positivos ou negativos ²⁰.

Existem duas maneiras de calcular a biomassa terrestre: métodos diretos e indiretos ²¹. Os métodos diretos (ou destrutivos) envolvem o corte de árvores para determinar a biomassa, sendo este método utilizado para a criação de equações alométricas, determinando a biomassa através do peso de cada uma das partes da árvore (ramos, folhas, entre outros) e extrapolar os resultados em função da área total ¹³. Já os métodos indiretos utilizam parâmetros mensuráveis e equações alométricas que permitem relacionar dimensões básicas obtidas em campo, de fácil medição para estimar a biomassa da área ⁶. O uso destas equações permite calcular a biomassa de espécies florestais de forma não destrutiva, aplicável em situações de crescimento ²². No entanto, é importante selecionar cuidadosamente e avaliar a fiabilidade dos modelos alométricos a serem utilizados para estimar a biomassa das árvores. Caso contrário, podem ocorrer subestimações ou superestimações dos valores obtidos ⁶. Todos os métodos de estimativa de biomassa de uma área precisam de prever a biomassa individual de cada árvore e somar essas quantidades para obter a biomassa por hectare, pelo menos durante as fases de desenvolvimento.

O método mais recorrente para a estimativa da biomassa das árvores é a utilização de equações alométricas. As equações alométricas podem variar entre diferentes espécies e também podem apresentar variações dentro da mesma espécie devido às condições específicas do local ²³. Um modelo alométrico consiste então numa correlação empírica entre a variável de interesse, que é o cálculo do carbono, e variáveis mensuráveis das características morfológicas das árvores, como por exemplo, a altura da árvore e o diâmetro à altura do peito (DAP). ²⁴ Este método permite estimar a biomassa de árvores individuais ou até mesmo de uma área inteira, utilizando apenas informações mensuráveis de fácil aquisição²⁵. Dependendo do número de variáveis independentes (características dimensionais), a equação pode ser uma regressão linear simples (com apenas uma variável, como o diâmetro à altura do peito) ou uma regressão linear múltipla (com duas ou mais variáveis, como diâmetro à altura do peito e altura total, entre outras). Essas equações, dependendo da sua natureza podem também considerar

outras variáveis independentes, como altura comercial, volume e densidade da madeira, por exemplo¹³.

A estimativa do crescimento das árvores em ambientes urbanos é uma tarefa desafiadora devido à falta de experiência passada e de literatura especializada. Em áreas urbanas, observa-se que as árvores crescem de forma diferente comparativamente com áreas florestais, sendo que existem poucas equações alométricas específicas para ambientes urbanos. O crescimento e a quantidade de árvores de grande porte e saudáveis são afetados não apenas pela disponibilidade de água e pela competição por espaço, mas também pelas características do solo predominante. Superfícies compactas, em particular, podem ter um impacto negativo no desenvolvimento das raízes, limitando tanto o crescimento das mesmas como o crescimento acima do solo. Isso evidencia que o uso da terra exerce uma influência significativa no crescimento das árvores, na taxa de sobrevivência e no armazenamento de carbono ²⁶.

Existe um método adicional para determinar a biomassa vegetal que se baseia no uso de levantamentos aéreos da cobertura florestal. Recentemente, existem investigações que utilizam a detecção remota para estimar a densidade de biomassa nas florestas²⁷. No entanto, estas técnicas requerem dados de campo em diferentes áreas para calibração e verificação, já que este método não mede diretamente a biomassa. Estudos como os mencionados podem ser úteis para fazer inferências sobre populações maiores. Com a crescente importância da avaliação do sequestro de carbono com base na monitorização global do ciclo de carbono, há uma demanda por técnicas robustas para a rápida obtenção de informações. Essas técnicas avançadas são essenciais e amplamente aplicáveis para estimativas, previsões futuras e gestão do sequestro de carbono terrestre. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) auxiliam na gestão eficiente de áreas urbanas e projetos florestais, reduzindo custos de gestão e criando uma base de dados comum para diferentes tipos de informações, permitindo assim um planeamento inteligente ^{28,29}.

2.4.2. Solo

Globalmente, os solos representam o terceiro maior depósito de carbono. O carbono encontra-se presente no solo na forma orgânica e inorgânica, sendo um elemento composto por uma variedade complexa de substâncias, umas com formas estáveis, que são moléculas orgânicas quimicamente ligadas ao solo mineral. É também composto por resíduos vegetais, animais e microrganismos em diferentes estágios de

decomposição, e muitos desses compostos estão ligados às partículas inorgânicas do solo. Além disso, este composto também engloba resíduos de cinzas, resultantes de queimadas de vegetação ³⁰.

O armazenamento de carbono orgânico no solo é principalmente afetado pelo clima, altitude ³¹, topografia ³², textura do solo ^{33,34} e tipos de vegetação. A distribuição relativa do carbono orgânico no solo é influenciada por diferentes tipos de cobertura vegetal ³⁵em comparação com o clima.

As espécies de plantas podem influenciar os reservatórios de carbono no solo e sua dinâmica devido às variações nos *inputs* de carbono e ao influenciar as perdas de carbono, incluindo a decomposição da matéria orgânica do solo ³⁶. A decomposição dos detritos vegetais e a respiração do solo são os dois processos-chave que determinam o tamanho dos reservatórios de carbono orgânico em diferentes tipos de ecossistemas ³⁷. Na Índia, por exemplo, ³⁸descobriram que diferentes tipos de cobertura vegetal têm um efeito significativo no armazenamento de carbono orgânico no solo.

O tempo desempenha um papel importante na dinâmica do carbono no solo urbano. Mudanças no uso da terra, como a construção de parques, frequentemente envolvem a remoção da camada superficial do solo, realocação do solo, nivelamento da superfície e compactação. Esta perturbação do solo altera o armazenamento e liberação de carbono, decorrendo longos períodos de tempo até atingir um novo equilíbrio de teor deste composto ³⁹. O carbono do solo estabilizado tem uma permanência de várias décadas, por outro lado, o carbono acumulado na camada superficial de matéria orgânica do jardim, tem uma permanência muito mais curta e é mais suscetível a perturbações ⁶.

A maioria dos estudos do solo não inclui áreas urbanas, considerando-as em parte como espaços vazios nos sistemas de monitorização de solos regionais. Os estudos relativos ao carbono no sistema solo, focam-se em ecossistemas agrícolas e naturais ⁴⁰, enquanto o stock de carbono orgânico, em áreas urbanas, carece de quantificação. Como resultado, a falta de dados sobre o carbono orgânico do solo em áreas urbanas, dificulta a estimativa ou previsão do balanço de carbono regional nos ecossistemas urbanos ⁴¹. Contudo, há um interesse crescente em quantificar os benefícios climáticos nas cidades ao redor do mundo, e descobertas científicas recentes têm fornecido resultados promissores. Por exemplo, em Leicester, no Reino Unido, estudos revelaram que o SOC em áreas urbanas pode ser consideravelmente maior do que em áreas agrícolas ⁴²e que os solos, de facto, representam o maior depósito de carbono orgânico nas áreas urbanas, totalizando 82% de todo o carbono orgânico.

O cálculo do potencial de sequestro de carbono no solo pode ser feito de duas formas, a partir de medições *ex-situ* e *in-situ*. Na primeira, precede-se à coleta de amostras de determinado solo, posteriormente enviadas para laboratório, onde se procede à análise do teor de carbono. Medições *in-situ* estão a ser desenvolvidas de forma a determinado equipamento medir o teor de carbono sem retirar amostras ou proceder a análises laboratoriais, por exemplo, com o auxílio de robôs operados a energia solar, utilizados em campos agrícolas, fornecem medições do teor de carbono no solo de forma a auxiliar na mitigação dos fertilizantes ⁴³.

A estimativa do potencial de sequestro de carbono em ecossistemas selecionados é acompanhada por incertezas e limitações, uma vez que esse armazenamento é altamente dinâmico e pode sofrer mudanças rápidas em curtos períodos de tempo. A integração do armazenamento de carbono no solo e na biomassa das árvores num sistema complexo, como uma cidade, não constitui uma exceção a esta complexidade.

3. Parque Alameda de Cartes

3.1. Descrição do local

O Parque da Alameda de Cartes está localizado numa área de interface entre os bairros Falcão, Cerco e Lagarteiro, em Campanhã. Esta localização vai ser alvo de diversas alterações nomeadamente a eliminação e a colocação de novas espécies de árvores. As espécies de árvores predominantes na zona são *Arbutus unedo*, *Populus nigra* 'Italica', acácias e eucaliptos. Na [Tabela 1](#) estão representadas as espécies de árvores a plantar e a preservar sendo que, no total, vão ser plantadas 724 espécies e preservadas 197 espécies de árvores. Na [Tabela 2](#) estão representadas as características das árvores a abater, durante a intervenção, estimando-se o abate de 305 árvores.

Tabela 1: Lista com número de espécies de árvores a plantar e a preservar, durante a intervenção.

Espécie de Árvores (un.)	DAP (cm)	Plantar	Preservar
Árvores jovens caule inferior a 3 cm	3	0	150
<i>Betula pubescens</i> sp. <i>celtiberica</i>	2	110	0
<i>Cedrus libani</i>	3-5	8	0
<i>Cupressus sempervirens</i>	3-5	75	0
Coníferas perenes não identificadas	8-30	0	4
<i>Ginkgo biloba</i>	3	17	0
<i>Liquidambar styraciflua</i>	4-5	24	0
<i>Magnolia denudata</i>	2-3	6	
<i>Magnolia grandiflora</i>	3-5	19	0
<i>Magnolia x soulangeana</i>	2-3	5	0
<i>Olea europaea</i>	60-100	50	1
<i>Platanus orientalis</i>	3-5	42	0
<i>Platanus x hispanica</i>	60-100	0	4
<i>Pinus pinaster</i>	3-5	24	0
<i>Pinus pinea</i>	5	134	0
<i>Populus alba</i> 'Pyramidalis'	3-4	32	0
<i>Populus nigra</i> 'Italica'	60-100	20	23
<i>Prunus cerasifera</i> 'Pissardii'	3-4	8	0
<i>Pyrus cordata</i>	3-5	42	0
<i>Quercus coccinea</i>	30-60	0	4
<i>Quercus robur</i>	60-100	37	3
<i>Quercus suber</i>	60-100	44	3
<i>Salix atrocinerea</i>	60-100	0	5
<i>Taxodium distichum</i>	3-5	4	0
<i>Tilia cordata</i>	3-5	23	0
Total		724	197

Tabela 2: Lista com número de árvores a eliminar, durante a intervenção.

Árvores a Eliminar de acordo com o DAP (un.)	Nº
DAP < 8cm	75
DAP [8-30cm]	186
DAP [30-60cm]	40
DAP [60-100cm], a definir pela equipa projetista	4
Total	305

DAP: diâmetro à altura do peito.

As áreas do parque estão divididas em 6 sendo classificadas como Horta Oliveira (1), Aterro de Resíduos de Construção (2), Clareira (3), Terreno Expectante (4), Assento de Lavoura (5) e Talude Rodoviário (6). No local dividido em 6 áreas de amostragem, foram recolhidas 29 amostras de solo. Na Figura 3 observa-se as zonas delimitadas referentes ao parque (parte colorida), as 6 áreas de estudo definidas (números) e os 19 pontos de amostragem (pontos vermelhos).



Figura 3: Parque Alameda de Cartes com as diferentes áreas delimitada e os respetivos pontos de amostragem.

4. Parte Experimental - Descrição de Procedimentos

4.1. Análise de Solos

Na [Tabela 3](#) estão definidas as zonas onde foram recolhidas as amostras de solo, as designações das mesmas, a data de recolha e a profundidade a que foram retiradas. A área total do parque é de 3,48 hectares.

Tabela 3: Designação das áreas de amostragem, datas de recolha de amostras, área, a designação das amostras e a profundidade a que foram recolhidas.

	Zona do Parque	Data de Recolha	Área hectares	Amostras	Profundidade do Solo (cm)
1	Horta da Oliveira	03/01/2023	0,44	P1.1A	0-20
				P1.1B	20-40
				P1.2A	0-20
				P1.3A	0-20
				P1.4A	0-20
2	Aterro de resíduos de construção	03/01/2023	0,41	P2.1A	0-20
				P2.1B	20-40
				P2.1C	40-60
				P2.1D	60-80
				P2.1E	80-100
				P2.2A	0-20
				P2.3A	0-20
				P2.4A	0-20
				P2.5A	0-20
				P2.5B	20-40
3	Clareira	03/02/2023	0,63	P3A.1A	0-20
				P3A.2A	0-20
				P3A.3A	0-20
	Clareira (zona talude)		0,89	P3B.1A	0-20
				P3B.1B	20-40
4	Terreno expectante	03/02/2023	0,43	P4.1A	0-20
				P4.2A	0-20
				P4.2B	20-40
5	Assento de lavoura	03/01/2023	0,57	P5.1A	0-20
				P5.2A	0-20
6	Talude rodoviário	03/02/2023	0,11	P6.1A	0-20
				P6.1B	20-40
				P6.2A	0-20

No terreno iniciou-se a recolha das amostras com a remoção de camada vegetal superficial com auxílio de pás. De seguida, inseriu-se um amostrador de Auger em várias profundidades: 0-20cm, 40-60cm, 60-80cm, 80-100 cm, sendo o peso de cada amostra variável (Figura 4). Após coleta de amostra, esta foi armazenada num saco de plástico e identificada com o número da amostra, como se pode observar na Figura 5.

As amostras foram posteriormente, em laboratório, secas ao ar, desagregadas e homogeneizadas, seguido de uma peneiração com um crivo de malha de 2 mm, separando-se assim a porção de terra fina, onde se vão efetuar todas as análises, dos elementos grosseiros. Realizou-se a análise de determinados parâmetros do solo de forma a melhor caracterizar o tipo de solo e calcular o potencial de sequestro de carbono, assim como estimar o sequestro nos próximos anos.



Figura 4: Sonda de amostragem portátil.



Figura 5: Sacos de armazenamento de determinadas amostras. Estas duas amostras são do mesmo local com diferentes profundidades, sendo notável a diferença de cor.

4.1.1. Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) foi determinada laboratorialmente, com base na ISO 11265:1994 para uma razão de diluição 1:5 (m/V). Pesou-se 20 gramas de solo para 100 mL de água desionizada, agitando as amostras no agitador, 150 rpm durante 30 minutos. Após agitação procedeu-se à filtração das amostras (Figura 8) e de uma amostra correspondente a um ensaio branco (apenas contendo água desionizada) estabelecendo duas réplicas para cada amostra com 20 mL de solução. Por fim procedeu-se à determinação da condutividade elétrica utilizando um condutímetro (Figura 6) ⁴⁴ realizando 5 leituras da CE para cada amostra.



Figura 8: Filtração das amostras de solo.



Figura 6: CRISON GLP31: Medidor Condutividade Elétrica.

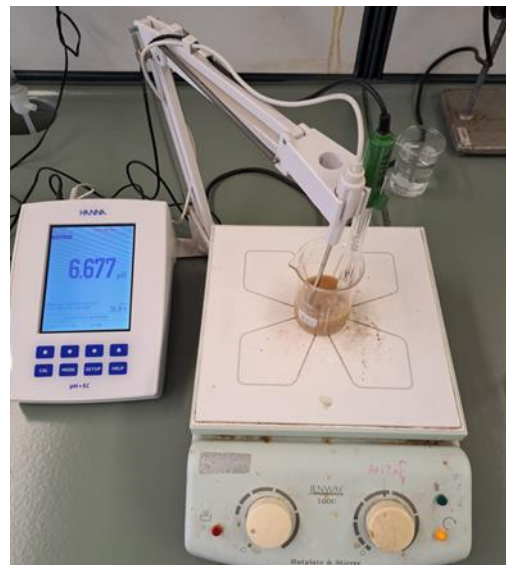


Figura 7: Medidor de pH e placa agitadora

4.1.2. pH

A nível laboratorial, a medição do pH realizou-se com base na ISO 10390:2006, onde para cada amostra de solo foram realizadas duas repetições independentes, com uma razão de 1:5 (fração volume) de suspensão solo/água, neste caso, 10 mL de solo para 50 mL de água. Posteriormente procedeu-se à agitação das amostras, 150 rpm durante 60 minutos, e o repouso das mesmas durante uma hora finalizando com a medição do pH (Figura 7) ⁴⁵.

4.1.3. Nitratos

A medição dos nitratos realizou-se através de uma determinação colorimétrica baseada na Lei de Lambert-Beer, onde o agente limitante é a espécie química em análise que reage com determinado composto adicionado, neste caso, foi utilizado um reagente em pó com o código HI93728-0, provocando o desenvolvimento de cor da amostra. Realizou-se a pesagem de 30 gramas de cada amostra de solo e adicionou-se 300 mL

de água desionizada, agitando a mistura durante 3 minutos e repousando cerca de 10 minutos. Após filtragem submeteu-se todas as amostras a uma centrifugação durante 5 minutos a 4500 rpm. Finalmente procedeu-se à determinação da concentração de nitratos através da leitura do fotómetro multiparâmetros de bancada (Figura 9).



Figura 9: HI 83200: Fotómetro multiparâmetros de bancada.

4.1.4. Matéria Orgânica no Solo

A determinação da matéria orgânica no solo foi efetuada através de três ensaios para cada amostra, seguindo o método de perda ao rubro, que envolve uma comparação de pesos entre as amostras antes e depois do processo de combustão em temperaturas elevadas (350-550°C). Através deste processo, a matéria orgânica é completamente removida das amostras, sobrando apenas a fração mineral. Neste estudo, inicialmente o solo foi seco durante 24 horas a 100°C, na estufa, de forma a eliminar a humidade da amostra e determinou-se a massa seca da amostra, sendo posteriormente sujeito a temperaturas de 100°C durante 15 minutos e 3 horas a 550 °C, na mufla (taxa de aquecimento de aproximadamente 5°C por minuto) ^{46,47}.

A massa da matéria orgânica foi então determinada pela subtração da massa inicial da amostra pela massa após a combustão. Em seguida, calculou-se a quantidade de matéria orgânica por unidade de massa do solo dividindo a massa da matéria orgânica pela massa da amostra de solo inicial ^{46,47}.

Calculou-se a média dos três ensaios e o respetivo desvio-padrão.

Com base no teor de matéria orgânica do solo (MOS), é viável efetuar o cálculo do conteúdo de carbono orgânico do solo (COS), que representa aproximadamente 58% da fração de MOS ^{46,47}.

4.2. Potencial de Sequestro de Carbono no Solo

A estimativa do sequestro de carbono no solo é realizada levando em consideração o volume de solo até uma profundidade de 30 centímetros, de acordo com o padrão estabelecido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em 2006 para a profundidade do solo, a massa correspondente, multiplicada pela massa volumétrica, a quantidade de carbono a partir da percentagem de carbono orgânico do solo (COS) e a quantidade estequiométrica de CO₂ eq., multiplicada por 44/12.

Para realizar o cálculo do carbono sequestrado pelo solo de forma mais detalhada, é necessário seguir os seguintes procedimentos ⁴⁸:

1. **Determinação do peso seco da amostra (Ps):** o cálculo do peso seco do solo, em gramas (g), é realizado através da diferença entre o peso da amostra de solo, previamente seco, contida num recipiente de armazenamento (representado por W₂) e o peso do recipiente vazio (representado por W₁).

$$P_s \text{ (g)} = W_2 - W_1$$

2. **Determinação do volume do recipiente (Vr):** aplicar seguinte equação na qual as variáveis Di e H correspondem, respetivamente, ao diâmetro (cm) e à altura do objeto (cm) em análise (Figura 11, no Anexo 1 – figura do recipiente).

$$V_r \text{ (cm}^3\text{)} = \frac{\pi}{4} \times D_i^2 \times H$$

3. **Determinação da Massa Volumétrica (D):** é essencial calcular a densidade do solo, que é um indicador da compactação do solo. Para calcular a densidade do solo, é preciso dividir o peso seco da amostra pelo seu volume. Este passo é fundamental para avaliar a estrutura e a compactação do solo, o que influencia diretamente a capacidade de sequestro de carbono.

$$D \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{P_s}{V_r}$$

4. **Determinação Volume do Solo (V):** trata-se do volume de solo num local específico e é necessário para calcular o peso total do solo. Este parâmetro é estimado considerando a área do local (A, em m²) e a profundidade do solo (Z, em metros) sob a seguinte forma:

$$V \text{ (m}^3\text{)} = A \times Z$$

5. **Determinação Peso Total do Solo (Pt):** esta equação tem como variáveis o volume do solo (ponto 4) e a massa volumétrica (ponto 3).

$$Pt \text{ (kg)} = V \times D$$

6. **Determinação Peso Total de Carbono do Solo (Pc):** Após a determinação do teor de carbono orgânico do solo (COS), sendo este 58% da MOS ⁴⁹, procedeu-se à obtenção do peso total de carbono orgânico do solo (Pc, em kg) presente em toda a área de interesse. Esse cálculo será realizado utilizando a seguinte equação, que também leva em consideração os valores de Pt (ponto 5) e COS:

$$Pc \text{ (kg)} = Pt \times COS$$

Determinação Peso CO₂ sequestrado no solo (W): Por último, o cálculo do peso do dióxido de carbono sequestrado no solo (W) é obtido levando em consideração que o CO₂ é composto por dois átomos de oxigênio e um átomo de carbono. Esses átomos têm massas atômicas de 16 (u) e 12 (u), respetivamente. Portanto, o peso do CO₂ presente no solo pode ser determinado com base no rácio de CO₂ para C, que é expressa como a soma das massas atômicas dos átomos que constituem o CO₂ a dividir pela massa atômica do C obtendo como resultado a fração 44/12. Em suma, é possível calcular o peso total do carbono orgânico do solo multiplicando o peso total do solo (Pt) pela fração acima. Posteriormente realizou-se a conversão de quilogramas em toneladas.

$$W = Pt \times \frac{44}{12}$$

4.3 Potencial de Sequestro de Carbono nas Árvores

O potencial de sequestro de carbono na biomassa das árvores depende de diversos fatores tal como explicado inicialmente, entre eles o tipo de espécie, a densidade, a sua taxa de crescimento, o tipo de região onde a espécie se encontra e as suas condições de crescimento.

O inventário da arborização existente, arborização a plantar e arborização a eliminar foi realizado por uma entidade exterior e facultado, subdivido em classes: as espécies de árvores a preservar e árvores a eliminar, com dados relativamente ao DAP mínimos e máximos e quantos exemplares de cada espécie. Nas espécies a plantar os dados

fornecidos são os valores de PAP mínimo, PAP máximo, altura máxima e mínima e quantos exemplares a plantar de cada espécie.

Para estimar a biomassa seca acima do solo recorre-se a uma equação alométrica, contudo, devido à falta de determinados dados como a altura, não se consegue aplicar equações alométricas baseadas no DAP e altura. Recorreu-se, portanto, a uma equação alométrica baseada somente no DAP denominando-a de E1 ⁵⁰. De forma a validar esta equação, aplicou-se a mesma nas árvores a plantar e realizou-se uma comparação com outra equação alométrica (E2) ⁵¹, utilizada noutros estudos, baseada no DAP e na altura, uma vez que foram facultadas, para esta categoria de árvores, as alturas mínimas e máximas.

- **Equação E1**

A equação E1 foi retirada de um estudo realizado no Havai, sendo que esta engloba apenas duas variáveis, o DAP mínimo e o número de árvores. A mencionada equação é a seguinte:

$$E1 = 0,0998 \times (\text{DAP min})^{1,24} \times 0,47 \times 3,67 \times n \times 0,001$$

n – Número de exemplares da espécie

- **Equação E2**

Esta equação passa por um modelo de equação alométrica descrita em EcoMatcher 2019, sendo o processo dividido em 4 partes.

1ª Parte: Determinação do peso verde total das árvores (árvores vivas)

Inicialmente os valores do perímetro à altura do peito (PAP) do grupo de árvores a plantar (para os restantes grupos é fornecido o DAP) deve ser convertidos em diâmetro à altura do peito (DAP) com recurso à seguinte equação:

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

Após essa conversão calcula-se o peso verde das árvores acima do solo, recorrendo a duas equações dependendo do valor de DAP. Estas equações utilizam o DAP em “inches” e a altura das árvores em “feet” resultando um peso em “pounds”, necessitando de conversões para dar um resultado em quilogramas.

$$P_{\text{acima do solo (lbs)}} = 0,25 \times \text{DAP}^2 \times A \quad (\text{DAP} < 11)$$

$$P_{\text{acima do solo (lbs)}} = 0,15 \times \text{DAP}^2 \times A \quad (\text{DAP} > 11)$$

$$P_{\text{acima do solo}} (\text{kg}) = P_{\text{acima do solo}} (\text{lbs}) \times 0,45359237$$

$$1 \text{ foot} = 0,3048 \text{ m}$$

$$1 \text{ inch} = 2,54 \text{ cm}$$

A biomassa abaixo do solo compreende cerca de 24% da biomassa acima do mesmo, portanto, o peso verde total de cada árvore determina-se através da seguinte equação:

$$P_{\text{verde tot}} (\text{kg}) = 1,24 \times P_{\text{acima do solo}} (\text{kg})$$

2ª Parte: Determinação do peso seco das árvores (matéria seca)

A matéria seca de uma árvore é cerca de 72,5%, em média, logo utiliza-se a seguinte fórmula para determinar o peso seco total de cada árvore:

$$P_{\text{seco}} (\text{kg}) = 0,725 \times P_{\text{verde tot}} (\text{kg})$$

3ª Parte: Determinação do peso de carbono em cada árvore

A quantidade de carbono, numa árvore, equivale a aproximadamente 47% do peso seco total, calculando-se da seguinte forma:

$$P_{\text{C}} = 0,47 \times P_{\text{seco}} (\text{kg})$$

4ª Parte: Determinação do peso de CO₂ sequestrado numa árvore

Por fim, o peso de CO₂ armazenado numa árvore é obtido tendo em conta que a molécula de dióxido de carbono apresenta na sua constituição 2 heteroátomos de oxigénio e um átomo de carbono sendo que estes possuem, respetivamente, um peso atómico de 16 (u) e 12 (u). Com isto, é possível determinar a proporção de CO₂ para C ((16+16+12)/12=3,67) e multiplicar por este valor pelo peso de carbono para determinar o peso de CO₂ na árvore.

$$P_{\text{CO}_2} = 3,67 \times P_{\text{C}} (\text{kg})$$

O peso do dióxido de carbono representa a quantidade armazenada deste composto numa árvore durante o seu tempo de vida. Posteriormente realizou-se a conversão de kg para ton.

Após comparação entre as duas equações, verificou-se uma sobrestimação de valores de sequestro com a utilização da equação E1 por 2,42 vezes relativamente à equação E2. Depreende-se que a equação E1 é menos precisa que a equação E2, devido ao facto de depender de menos variáveis, incutindo posteriormente um fator de correção de 0,41, valor adquirido a partir do rácio E2/E1. Com isto, os resultados obtidos com a utilização da equação E1, aplicando o fator de correção, são equivalentes aos valores que seriam obtidos pela equação E2.

Resumindo, o peso total seco de uma árvore pode ser calculado tendo em consideração a proporção de biomassa acima do solo e biomassa abaixo do solo, sendo que, a biomassa abaixo do solo é cerca de 24 % do peso da biomassa acima do mesmo ⁵². O peso seco total é posteriormente convertido em carbono total, usando uma razão conhecida de carbono para peso total (0,47) ^{51,53,54}. Por fim, a quantidade de carbono sequestrado é obtida em toneladas de CO₂eq, considerando a razão de CO₂ por carbono (3,67) ⁵¹. Aplicou-se este modelo alométrico construído a todas as árvores existentes (com base nos dados disponíveis) no Parque Alameda de Cartes, para estimar a quantidade de carbono sequestrado pelas árvores deste Parque.

No presente trabalho, a seção dos resultados referentes ao potencial de Sequestro de Carbono das Árvores encontra-se dividido em 4 partes, o sequestro na situação atual, o sequestro após a eliminação de 305 espécies, o sequestro de carbono após a plantação de um conjunto de árvores e previsões futuras de sequestro de carbono durante 1, 5, 10 e 20 anos. Dentro de cada subcapítulo foram considerados 3 cenários de acordo com os valores de DAP e altura das árvores; o cenário pessimista, o cenário médio e o cenário otimista. No cenário pessimista considerou-se os valores de DAP e altura mínimos; no cenário médio utilizou-se as médias dos valores de DAP; e por último, o cenário otimista utilizando os valores máximos de DAP.

A utilização dos três cenários: positivo, médio e negativo, proporciona uma compreensão das variações que pode ocorrer ao potencial de sequestro de carbono, uma vez que este depende de inúmeras variáveis, apresentando-se como uma estratégia fundamental para a amplificação da compreensão das flutuações inerentes ao potencial de sequestro de carbono. Aprecia-se que a mensuração precisa deste valor se configure como uma tarefa de considerável desafio, dadas as limitações inerentes à ausência de equações capazes de abranger a totalidade das variáveis que influenciam o referido processo de sequestro.

Este estudo é fundamentado na utilização de modelos e, portanto, apresenta uma considerável margem de incerteza em relação à gama de resultados que são ilustrados. As principais fontes de incerteza estão relacionadas com os métodos empregados e a subjetividade inerente à modelagem de cenários. Ademais, as árvores presentes em ambientes urbanos podem contribuir de maneira substancial para o sequestro de carbono a longo prazo. A garantia da longa vida útil dessas árvores é de suma importância, uma vez que sua capacidade de sequestro de carbono aumenta à medida que amadurecem. Para viabilizar essa longevidade, torna-se necessário dispor de espaço adequado e proporcionar condições propícias para seu desenvolvimento ⁵⁵.

As metodologias desenvolvidas neste trabalho podem ser aplicadas noutros jardins urbanos com características semelhantes. Além disso, essas metodologias podem ser ajustadas mediante a aplicação de fatores de correção, considerando as particularidades do local em questão, bem como as variáveis específicas que podem influenciar os resultados. Isso permite uma adaptação das técnicas de avaliação do sequestro de carbono de forma mais precisa e personalizada, levando em conta a singularidade de cada ambiente e suas influências circundantes.

4.3.1. Potencial de Sequestro de Carbono Anual

No cálculo do potencial de sequestro de carbono anual, contemplou-se o número de árvores a preservar, e as árvores a plantar baseando nos dados disponíveis e em estimativas anuais disponibilizadas pela Agência Europeia do Meio Ambiente ⁵⁶ e num estudo realizado nos Estados Unidos da América ⁵⁰. Essa escolha foi baseada na necessidade de avaliar uma faixa de possíveis cenários, levando em consideração diferentes fontes de dados.

O primeiro valor médio de sequestro anual, igual a 22 quilogramas de dióxido de carbono equivalente por ano por árvore ($\text{kg CO}_2/\text{ano}/\text{árvore}$), foi obtido a partir de informações fornecidas pela Agência Europeia do Ambiente ⁵⁷. Esse valor representa uma estimativa da capacidade anual de sequestro de carbono por árvore em determinadas condições ambientais europeias. O segundo valor médio, de 10 $\text{kg CO}_2/\text{ano}/\text{árvore}$, foi derivado de um estudo conduzido nos Estados Unidos da América, refletindo as condições específicas desse país, semelhantes ao nosso objeto de estudo.

Para realizar esse cálculo, foram utilizadas duas equações distintas, que foram designadas como o cenário positivo e o cenário negativo, neste caso, excluiu-se o cenário médio, considerando apenas o positivo e negativo. No cenário positivo, foi adotado o valor fornecido pela Agência Europeia do Ambiente como referência, enquanto no cenário negativo, a base de cálculo foi o valor médio de um estudo realizado nos Estados Unidos. Abaixo, apresentam-se as duas equações que foram utilizadas para calcular o potencial de sequestro de carbono anual, em que "n" representa o número de árvores de cada espécie. Como os valores médios provenientes de outras fontes encontram-se expressos em quilogramas, foi necessário aplicar um fator de conversão para convertê-los em toneladas.

- **Equação Cenário Positivo**

$$CP \text{ (ton CO}_2\text{/ ano)} = 22 \times n \times 0,001$$

- **Equação Cenário Negativo**

$$CP \text{ (ton CO}_2\text{/ ano)} = 10 \times n \times 0,001$$

A escolha de utilizar esses dois valores distintos de sequestro de carbono por árvore tem como finalidade permitir uma análise abrangente que abarque uma gama de possíveis variações, excluindo assim uma equação com o cenário médio. Isso proporciona uma compreensão mais completa das implicações, permitindo uma avaliação de cenários otimistas e pessimistas em relação ao sequestro de carbono pelas árvores a serem preservadas e plantadas no Parque Alameda de Cartes. Dessa forma, a análise considera uma perspectiva mais ampla e informada em relação ao potencial de sequestro de carbono nas árvores.

5. Resultados e Discussão

5.1. Análise dos Solos

5.1.1. Condutividade Elétrica

Na tabela 4 é possível observar os valores de condutividade elétrica das amostras assim como os desvios-padrão.

Tabela 4: Condutividade elétrica, pH, matéria orgânica e respetivos desvios-padrão (D.P.) das amostras.

Área	Amostras	Prof. (cm)	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$) $\pm$ D.P.	pH $\pm$ D.P.	M.O. Solo (%) $\pm$ D.P.
Horta da Oliveira	P1.1A	0-20	104,6 $\pm$ 2,1	7,32 $\pm$ 0,03	7,34 $\pm$ 0,10
	P1.1B	20-40	99,4 $\pm$ 1,4	6,80 $\pm$ 0,01	4,32 $\pm$ 0,22
	P1.2A	0-20	95,6 $\pm$ 2,7	7,14 $\pm$ 0,01	6,99 $\pm$ 0,17
	P1.3A	0-20	94,1 $\pm$ 3,3	5,47 $\pm$ 0,03	6,5 $\pm$ 0,12
	P1.4A	0-20	85 $\pm$ 2,3	6,22 $\pm$ 0,01	3,91 $\pm$ 0,09
Aterro Resíduos de Construção	P2.1A	0-20	79,1 $\pm$ 2,7	6,05 $\pm$ 0,01	6,83 $\pm$ 0,20
	P2.1B	20-40	62,3 $\pm$ 1,5	6,13 $\pm$ 0,02	2,66 $\pm$ 0,27
	P2.1C	40-60	66,6 $\pm$ 4,6	6,36 $\pm$ 0,01	3,57 $\pm$ 0,10
	P2.1D	60-80	68,7 $\pm$ 2,1	5,84 $\pm$ 0,01	3,44 $\pm$ 0,04
	P2.1E	80-100	85,4 $\pm$ 5,6	6,32 $\pm$ 0,01	3,36 $\pm$ 0,08
	P2.2A	0-20	105,9 $\pm$ 6,9	5,65 $\pm$ 0,03	6,99 $\pm$ 0,13
	P2.3A	0-20	80,6 $\pm$ 11,5	5,72 $\pm$ 0,01	4,84 $\pm$ 0,23
	P2.4A	0-20	185,6 $\pm$ 12,1	8,01 $\pm$ 0,00	5,03 $\pm$ 0,07
	P2.5A	0-20	89,8 $\pm$ 7,3	6,65 $\pm$ 0,01	5,19 $\pm$ 0,09
	P2.5B	20-40	108,5 $\pm$ 20,4	6,77 $\pm$ 0,02	5,02 $\pm$ 0,15
	P2.5C	40-60	-	6,70 $\pm$ 0,00	4,15 $\pm$ 0,18
Clareira	P3. A.1A	0-20	103,6 $\pm$ 3,8	6,13 $\pm$ 0,01	3,85 $\pm$ 0,11
	P3. A.2A	0-20	72,2 $\pm$ 12,5	7,84 $\pm$ 0,01	6,34 $\pm$ 0,03
	P3. A.3A	0-20	128,7 $\pm$ 2,6	6,67 $\pm$ 0,01	5,78 $\pm$ 0,85
Clareira (zona talude)	P3. B.1A	0-20	112 $\pm$ 5,4	6,23 $\pm$ 0,09	6,97 $\pm$ 0,16
	P3. B.1B	20-40	113,1 $\pm$ 1,9	6,61 $\pm$ 0,00	6,09 $\pm$ 0,31
Terreno Expectante	P4.1A	0-20	147,8 $\pm$ 5,7	7,46 $\pm$ 0,00	4,95 $\pm$ 0,80
	P4.2A	0-20	98,7 $\pm$ 32,8	5,81 $\pm$ 0,03	7,67 $\pm$ 0,49
	P4.2B	20-40	97,7 $\pm$ 14,6	6,11 $\pm$ 0,01	4,53 $\pm$ 0,38
Assento de Lavoura	P5.1A	0-20	82,4 $\pm$ 3,5	5,54 $\pm$ 0,04	6,09 $\pm$ 0,07
	P5.2A	0-20	78,7 $\pm$ 3,1	5,67 $\pm$ 0,01	7,66 $\pm$ 0,11
Talude Rodoviário	P6.1A	0-20	92,6 $\pm$ 4	5,68 $\pm$ 0,01	5,69 $\pm$ 0,63
	P6.1B	20-40	78,4 $\pm$ 3,5	5,18 $\pm$ 0,01	5,78 $\pm$ 0,33
	P6.2A	0-20	190,3 $\pm$ 3,8	7,35 $\pm$ 0,02	4,18 $\pm$ 0,29

Com base na análise da [Tabela 4](#), nas camadas mais superficiais do solo (0-20cm), é possível aferir que a condutividade elétrica varia entre um valor mínimo de 62,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e um valor máximo de 190,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas amostras estão localizadas respetivamente no Aterro de Resíduos de Construção e no Talude Rodoviário.

Na análise do solo, a CE representa uma métrica fundamental que quantifica a capacidade do solo de condução de corrente elétrica. De maneira preponderante para o contexto da fertilidade do solo, a CE trata-se de um indicador crucial da disponibilidade de nutrientes no substrato terrestre. O aumento da CE reflete a presença amplificada de sítios com carga elétrica negativa, predominantemente atribuíveis a partículas de argila e matéria orgânica no solo, o que implica a retenção mais acentuada de cátions, espécies iónicas com carga positiva, presentes no solo. É relevante destacar que níveis muito baixos de CE indicam uma disponibilidade insuficiente de nutrientes, ao passo que níveis excessivamente elevados denotam um excedente de nutrientes, o que pode comprometer o equilíbrio nutricional e a qualidade do solo ⁵⁸.

Neste estudo, com o aumento da profundidade, podemos observar uma diminuição na condutividade elétrica do solo. Esta variação pode estar correlacionada com a presença de materiais de construção, que atuam como isolantes elétricos (madeira e/ou plásticos), ou outros fatores subterrâneos que influenciam a capacidade de condutividade elétrica do solo.

5.1.2. pH

A avaliação do pH revela predominantemente uma caracterização do solo como neutro ou levemente ácido, com valores médios oscilando entre 5,18 e 8,0 ([Tabela 4](#)). Contudo, em determinadas áreas, como na Horta Oliveira, especificamente nas amostras P1.1A (0-20 cm) e P1.1B (20-40 cm), observa-se um processo de acidificação do solo à medida que a profundidade aumenta. Essa tendência também se manifesta no talude rodoviário.

Por outro lado, na região de aterro, na clareira (zona do talude) e na parcela de terreno expectante, ocorre o oposto: há um aumento no pH à medida que aumenta a profundidade no solo, embora essa variação seja relativamente pequena. Essas discrepâncias nos valores de pH podem, mais uma vez, ser atribuídas à presença de resíduos provenientes de construções anteriores, que exercem influência significativa sobre as propriedades químicas do solo.

5.1.3. Nitratos

Na medição dos nitratos obteve-se o valor de concentração do ião nitrato (NO_3^-), apenas para as amostras com profundidade até 20 cm ([Tabela 5](#)).

Tabela 5: Quantidade de nitratos presentes nas amostras a 20 cm de profundidade (*L.D – Limite de Detecção).

	NO_3^- (mg/L)
P1.1A	< L.D
P1.2A	< L.D
P1.3A	3,9
P1.4A	1
P2.1A	< L.D
P2.2A	< L.D
P2.3A	6,02
P2.4A	0,4
P2.5A	0,8
P3. A.1A	1,1
P3. A.2A	0,6
P3. A.3A	< L.D
P3. B.1A	1,1
P4.1. A	1,1
P4.2. A	1,8
P5.1A	0,7
P5.2A	3,8
P6.1A	22,9
P6.2A	< L.D

Após uma minuciosa análise da tabela de dados, é possível chegar à conclusão de que os três locais que apresentam as maiores concentrações de nitratos são a horta de oliveira, o aterro de resíduos de construção e o talude rodoviário.

No caso da zona da horta de oliveira, a elevada concentração de nitratos pode ser atribuída ao fato de ser uma área dedicada à agricultura. Nessa região, é comum o uso de fertilizantes que contêm nitratos na sua composição. Portanto, a presença dessas substâncias na amostra pode ser relacionada com as práticas agrícolas.

No que diz respeito à área do aterro de resíduos de construção, existem várias razões para o aumento das concentrações de nitratos. Em primeiro lugar, os resíduos de construção podem passar por processos de decomposição ao longo do tempo, libertando compostos, incluindo nitratos, para o solo circundante. Além disso, alguns materiais de construção, como o cimento, são compostos alcalinos que têm a capacidade de aumentar o pH do solo ⁵⁹. Esse aumento no pH favorece os processos

de nitrificação realizados por bactérias presentes no solo, resultando numa maior quantidade de nitratos disponíveis⁶⁰.

Por fim, na área do talude rodoviário, a presença notável de nitratos pode ser explicada pela combinação de baixas perturbações ambientais e a presença de cobertura vegetal. Em ambientes com poucas perturbações, pode proporcionar as condições propícias para a existência de bactérias nitrificantes. Essas bactérias desempenham um papel fundamental na conversão de compostos de azoto em nitratos, o que pode explicar a alta concentração observada nesse ecossistema.

5.1.4. Matéria Orgânica no Solo

A percentagem de matéria orgânica de cada amostra, está apresentada na [Tabela 6](#) com o respetivo desvio-padrão.

[Tabela 6:](#) Percentagem Matéria orgânica e carbono orgânico no solo e respetivos desvios-padrão.

Área	Amostra	Profundidade (cm)	MOS (%MO) ± D.P.	COS (%C) ± D.P.
Horta da Oliveira	P1.1A	0-20	7,34 ± 0,10	4,25 ± 0,06
	P1. B	20-40	4,32 ± 0,22	2,51 ± 0,13
	P1.2A	0-20	6,99 ± 0,17	4,06 ± 0,10
	P1.3A	0-20	6,5 ± 0,12	3,77 ± 0,07
	P1.4A	0-20	3,91 ± 0,09	2,27 ± 0,05
Aterro Resíduos de Construção	P2.1A	0-20	6,83 ± 0,20	3,96 ± 0,12
	P2.1B	20-40	2,66 ± 0,27	1,55 ± 0,16
	P2.1C	40-60	3,57 ± 0,10	2,07 ± 0,06
	P2.1D	60-80	3,44 ± 0,04	1,99 ± 0,02
	P2.1E	80-100	3,36 ± 0,08	1,95 ± 0,05
	P2. 2A	0-20	6,99 ± 0,13	4,05 ± 0,08
	P2. 3A	0-20	4,84 ± 0,23	2,81 ± 0,14
	P2. 4A	0-20	5,03 ± 0,07	2,92 ± 0,04
	P2. 5A	0-20	5,19 ± 0,09	3,01 ± 0,05
	P2. 5B	20-40	5,02 ± 0,15	2,91 ± 0,09
	P2. 5E	40-60	4,15 ± 0,18	2,4 ± 0,10
Clareira	P3A.1A	0-20	3,85 ± 0,11	2,23 ± 0,06
	P3A.2A	0-20	6,34 ± 0,03	3,67 ± 0,02
	P3A.3A	0-20	5,78 ± 0,85	3,35 ± 0,49
Clareira (zona talude)	P3B.1A	0-20	6,97 ± 0,16	4,05 ± 0,10
	P3B.1B	20-40	6,09 ± 0,31	3,53 ± 0,18
Terreno Expectante	P4.1A	0-20	4,95 ± 0,80	2,87 ± 0,47
	P4.2A	0-20	7,67 ± 0,49	4,45 ± 0,28
	P4.2B	20-40	4,53 ± 0,38	2,63 ± 0,22

Área	Amostra	Profundidade (cm)	MOS (%MO) ± D.P.	COS (%C) ± D.P.
Assento de Lavoura	P5.1A	0-20	6,09 ± 0,07	3,53 ± 0,04
	P5.2A	0-20	7,66 ± 0,11	4,44 ± 0,06
Talude Rodoviário	P6.1A	0-20	5,69 ± 0,63	3,3 ± 0,36
	P6.1B	20-40	5,78 ± 0,33	3,35 ± 0,19
	P6.2A	0-20	4,18 ± 0,29	2,43 ± 0,17

A média da percentagem de carbono orgânico do solo (COS) na camada superficial, especificamente até uma profundidade de 30 centímetros, dentro do Parque Alameda de Cartes, apresenta uma variação entre 3% e 4%, conforme documentado na

Tabela 20, Anexo 5. É relevante destacar que esses valores englobam valores característicos de solos que não foram submetidos a práticas de mobilização do solo e que possuem cobertura vegetal.

Observa-se uma tendência geral de redução na percentagem de COS à medida que a profundidade do solo aumenta em todas as áreas do parque, com exceção da região conhecida como "Talude Rodoviário". Essa diminuição do COS com o aumento da profundidade é uma característica comum em perfis de solo e pode ser atribuída a processos naturais de decomposição orgânica e redistribuição de matéria orgânica dentro do solo.

No entanto, no contexto da área em análise, a diminuição do SOC com a profundidade pode ser acentuada devido à presença de resíduos de construções, que são conhecidos por possuir baixos teores de matéria orgânica. Essa contribuição de resíduos de construção menos ricos em matéria orgânica pode intensificar o declínio observado.

A divergência na tendência de comportamento do COS no "Talude Rodoviário" em relação às demais áreas do parque é atribuída à mistura de diferentes materiais que compõem essa região. A heterogeneidade na composição desses materiais potencia um conjunto de diferentes dinâmicas do carbono orgânico do solo, influenciando a concentração observada.

5.2. Potencial de Sequestro de Carbono no Solo

5.2.1. Sequestro Atual

Para efetuar o cálculo do sequestro de carbono no solo realizou-se inicialmente o cálculo da massa volumétrica para cada área, apresentado na [Tabela 7](#).

[Tabela 7](#): Massa Volumétrica e áreas de cada zona do parque.

Área do Parque	Área (hectares)	Massa Volumétrica g/cm ³
Horta da Oliveira	0,44	1,48
Aterro de Resíduos de Construção	0,41	0,89
Clareira (zona plana)	0,63	1,27
Clareira (zona talude)	0,89	1,15
Terreno Expectante	0,43	1,19
Assento de Lavoura	0,57	1,27
Talude Rodoviário	0,12	0,68
Total =	3,48	—

Na [Tabela 8](#) está apresentado o registro detalhado da quantidade de toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO₂eq) sequestrados no solo de cada uma das áreas examinadas no âmbito do Parque Alameda de Cartes, incluindo a soma total desses valores. Atualmente, o parque é responsável pelo sequestro de aproximadamente 1600 toneladas de CO₂eq, o que se traduz numa taxa de sequestro de 460 toneladas de CO₂eq por hectare.

Tabela 8: Quantidade de CO₂eq (ton) sequestrado pelo solo das diferentes áreas do parque.

Área do Parque	ton CO ₂ eq
Horta da Oliveira	230
Aterro de Resíduos de Construção	120
Clareira	241
Clareira (zona talude)	488
Terreno Expectante	179
Assento de Lavoura	316
Talude Rodoviário	26
Total =	1599

5.2.2. Sequestro Anual

Considerando diferentes estudos relativos ao sequestro de carbono é possível estimar um valor médio de sequestro de carbono de 0,64 ton/ha/ano (toneladas por hectare por ano). Este valor médio adveio de valores de sequestro de carbono no solo retirados de estudos realizados em solos urbanos situados em Baltimore (0,82 ton/ha/ano) ⁶¹, Manchester (0,50 ton/ha/ano) ⁶² e Guangzhou (0,48 ton/ha/ano) ⁶³. Ao empregar esse valor médio para o Parque Alameda de Cartes, antecipa-se um acréscimo anual de 2,2 toneladas de carbono orgânico do solo na camada superficial do solo, representando uma taxa anual de sequestro de 8,2 toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Vale ressaltar que as características dos solos em áreas urbanas apresentam uma alta heterogeneidade ^{64,65}, e a densidade de COS varia consideravelmente de acordo com o tipo de uso da terra ⁶⁶. Por exemplo, alguns estudos relataram níveis significativos de armazenamento de COS em áreas residenciais urbanas ^{67,68}. Por outro lado, resultados divergentes também foram observados, como o estudo de Sun et al., que indicou que o armazenamento de COS no solo na camada com profundidades entre 0 e 100 cm em distritos residenciais era substancialmente inferior ao observado em distritos de tráfego e áreas industriais em Kaifeng, China ⁶⁹. Adicionalmente Canedoli e a sua equipa de pesquisa identificaram um stock significativo de COS em parques urbanos na cidade de Milão, na Itália ⁷⁰. Essas descobertas destacam a relevância das áreas de parques urbanos como sumidouros de carbono e sugerem que esses espaços desempenham um papel fundamental na captura e armazenamento desse importante componente nas áreas urbanas.

Essas variações substanciais no armazenamento de SOC, tanto entre áreas urbanas quanto dentro delas, ressaltam a necessidade evidente de realizar pesquisas mais abrangentes sobre o solo em diferentes tipos de uso e cobertura vegetal nas cidades. Isso é fundamental para reduzir a incerteza nas estimativas relacionadas ao pool de carbono em ecossistemas urbanos e fornecer uma base sólida para políticas e práticas de gestão de carbono em contextos urbanos.

5.3. Potencial de Sequestro de Carbono nas Árvores

5.3.1. Potencial de Sequestro de Carbono Atual

Na condição atual, antes de qualquer intervenção, foram identificadas 197 árvores para serem mantidas e 305 árvores para serem removidas. Na [Tabela 9](#), as árvores destinadas à remoção e preservação estão contabilizadas, juntamente com a capacidade de sequestro de carbono, expressa em dióxido de carbono equivalente (CO₂eq), em três cenários distintos: otimista, no qual se considera um valor total de sequestro de carbono de 688 ton CO₂eq; médio, com a adoção de um valor total de 421 ton CO₂eq; e pessimista, com um valor total de sequestro de 152 ton de CO₂eq.

Tabela 9: Grupos de árvores presentes no parque antes da intervenção e quantidade de carbono sequestrado (em ton CO₂eq).

Grupos de Árvores	Un.	C. Otimista	C. Médio	C. Pessimista
Árvores a Preservar	197	433	275	116
Árvores a Eliminar	305	255	146	36
Total =	502	688	421	152

No cenário mais otimista, estima-se que, de um total de 688 ton CO₂eq, 37% será perdido devido ao corte de árvores, resultando em um sequestro de carbono de apenas 433 ton CO₂eq após a intervenção. No cenário de médio impacto, as 421 ton CO₂eq diminuirão para 275 toneladas após a remoção de determinadas espécies, representando uma redução no sequestro de carbono de aproximadamente 35%. Por fim, no cenário mais pessimista, o grupo de árvores a ser eliminado sequestra cerca de 24% do carbono, e após o seu corte, o sequestro de carbono será reduzido para apenas 116 toneladas. Reforça-se a ideia que o nome destes cenários está relacionado com os valores de DAP (mínimos, médios e máximos) utilizados. É possível verificar que embora o grupo de árvores a eliminar seja maior, é o grupo de árvores a preservar que

sequestra mais carbono, podendo relacionar este feito com a diferença de DAP entre os grupos.

Na tabela apresentada a seguir, [Tabela 10](#), é possível realizar uma análise discriminatória das diferentes espécies de árvores, categorizando-as de acordo com suas espécies específicas, intervalos de variação de diâmetros e os respectivos potenciais de sequestro de carbono expressos ton CO₂eq.

[Tabela 10](#): Espécies de árvores a preservar e eliminar e seu potencial de sequestro de carbono.

Árvores a Preservar				
ton CO₂eq / cenário				
Espécie	Un.	Otimista	Médio	Pessimista
<i>Populus nigra</i>	23	247	157	67
<i>Platanus x hispanica</i>	4	43	27	12
<i>Quercus suber</i>	3	32	21	9
<i>Quercus robur</i>	3	32	21	9
<i>Salix atrocinerea</i>	5	54	34	15
<i>Olea europaea</i>	1	11	7	3
<i>Quercus coccinea</i>	4	12	7	2
Coníferas não identificadas	4	2	1	0
Árvores plantadas no âmbito do projeto "100.000 Árvores"	150	0	0	0
Total =	197	433	275	116

Árvores a Eliminar				
ton CO₂eq / cenário				
Classes de Diâmetros Árvores	Un.	Otimista	Médio	Pessimista
Diâmetro até 8 cm	75	1	1	1
Diâmetro entre 8 cm e 30 cm	186	93	48	3
Diâmetro entre 30 cm e 60 cm	40	117	69	20
Diâmetro entre 60 cm e 100 cm	4	43	27	12
Total =	305	255	146	36

5.3.2. Potencial de Sequestro de Carbono Eliminação de Espécies

Conforme previamente mencionado, as árvores atualmente presentes neste parque podem ser categorizadas em dois grupos distintos, as árvores designadas para fins de

preservação, totalizando 197 exemplares, e as árvores que foram identificadas para posterior corte, somando um contingente de 305 unidades.

No contexto otimista, o conjunto de árvores designado para preservação é responsável por sequestrar 433 ton CO₂eq, enquanto o grupo de árvores destinadas à remoção contribui com um sequestro de 255 ton CO₂eq, totalizando, portanto, 688 ton CO₂eq ([Tabela 10](#)). A retirada do grupo de árvores designado para eliminação implicará uma redução significativa de 37% no sequestro de carbono realizado por essas espécies arbóreas.

Importa ressaltar que, no momento em que uma árvore é abatida, é possível ocorrer a libertação, no mínimo parcial, do carbono previamente sequestrado na sua biomassa, na forma de CO₂. As emissões resultantes deste processo estão diretamente associadas à maneira pela qual as árvores são descartadas após o corte. A utilização da madeira e sua conversão em produtos de madeira de longa duração proporciona algum nível de armazenamento de carbono.

No cenário médio, O primeiro grupo, dedicado à preservação, acumulou um total de 275 ton CO₂eq, enquanto o segundo grupo, cujo destino recai sobre o corte, contribuiu com o sequestro de 146 ton CO₂eq. Portanto, a proposta de remoção das 305 árvores marcadas para corte implicará em uma redução significativa na quantidade de carbono retido pela atual população arbórea existente no próprio parque, diminuindo o valor de 421 ton CO₂eq para 275 ton CO₂eq, conforme registado na [Tabela 10](#), uma diminuição de aproximadamente 35%.

No cenário pessimista, a categoria de árvores identificada para preservação contribui com um sequestro de apenas 116 ton CO₂eq, em contraste com as 305 árvores marcadas para corte, que sequestram 36 toneladas de CO₂eq. Somando esses valores, obtém-se um total de 152 toneladas de CO₂eq. Após a remoção do grupo de árvores destinadas ao corte, verifica-se que o valor total de sequestro de carbono, que inicialmente era de 152 toneladas de CO₂eq, sofre uma redução de aproximadamente 24%.

5.3.3. Sequestro de Carbono Anual após Plantação de Novas Espécies

A intervenção programada no Parque Alameda de Cartes terá um impacto substancial na sua comunidade arbórea, envolvendo a plantação de centenas de novas árvores, o abate de 305 árvores já existentes e a preservação de outras 197.

Na [Tabela 11](#) estão representadas as espécies de árvores de cada grupo, destinadas à preservação ou plantio. No contexto de um cenário positivo, o conjunto de árvores

identificado para preservação é capaz de realizar um sequestro anual estimado de 4 ton CO₂eq por ano. Simultaneamente, as árvores a serem plantadas demonstram um potencial anual de sequestro de aproximadamente 16 toneladas de CO₂eq.

Tendo uma perspetiva mais negativa, observa-se que as árvores destinadas à preservação apresentam um potencial de sequestro anual estimado de cerca de 2 toneladas de CO₂eq, enquanto as árvores a serem introduzidas no ambiente revelam uma capacidade de sequestro de carbono de aproximadamente 7 ton CO₂eq por ano.

Tabela 11: Potencial de sequestro de carbono anual nas diferentes espécies de árvores a preservar e a plantar.

Sequestro Anual de Carbono (ton CO₂eq)			
Árvores a Preservar	Un.	C. Positivo	C. Negativo
<i>Populus nigra</i>	23	0,51	0,23
<i>Platanus x hispanica</i>	4	0,09	0,04
<i>Quercus suber</i>	3	0,07	0,03
<i>Quercus robur</i>	3	0,07	0,03
<i>Salix atrocinerea</i>	5	0,11	0,05
<i>Olea europaea</i>	1	0,02	0,01
<i>Quercus coccinea</i>	4	0,09	0,04
Coníferas não identificadas	4	0,09	0,04
Árvores plantadas no âmbito do projeto "100.000 Árvores"	150	3,3	1,5
Total =	197	4,33	1,97
Árvores a Plantar	Un.	C. Positivo	C. Negativo
<i>Liquidambar styraciflua</i>	24	0,53	0,24
<i>Platanus orientalis</i>	42	0,92	0,42
<i>Betula pubescens ssp. celtiberica</i>	110	2,42	1,1
<i>Cedrus libani</i>	8	0,13	0,06
<i>Cupressus sempervirens</i>	75	1,65	0,75
<i>Ginkgo biloba</i>	17	0,37	0,17
<i>Magnolia denudata</i>	6	0,13	0,06
<i>Magnolia x soulangeana</i>	5	0,11	0,05
<i>Magnolia grandiflora</i>	14	0,31	0,14
<i>Olea europaea</i>	50	1,1	0,5
<i>Pinus pinea</i>	134	2,95	1,34
<i>Pinus pinaster</i>	24	0,53	0,24
<i>Pyrus cordata</i>	42	0,92	0,42
<i>Populus alba 'Pyramidalis'</i>	32	0,7	0,32
<i>Populus nigra 'Italica'</i>	20	0,44	0,2
<i>Prunus cerasifera 'Pissardii'</i>	8	0,18	0,08
<i>Quercus robur</i>	37	0,81	0,37
<i>Quercus suber</i>	44	0,97	0,44

<i>Tilia cordata</i>	23	0,51	0,23
<i>Taxodium distichum</i>	4	0,09	0,04
<i>Magnolia grandiflora</i>	5	0,04	0,02
Total =	724	15,82	7,19

No cenário positivo, a futura população de árvores no Parque está projetada para contribuir com um sequestro anual estimado de 20 ton CO₂eq, conforme demonstrado na [Tabela 12](#). Dessas 20 toneladas, uma parcela significativa, correspondente a 79%, será atribuída às novas árvores que serão plantadas como parte da intervenção planeada. Os restantes 21% desse sequestro de carbono serão creditados ao grupo de árvores já existentes, que estão marcadas para preservação.

[Tabela 12:](#) Sequestro de carbono anual dos grupos de árvores a preservar e a plantar.

	ton CO ₂ eq / cenário	
Grupos de Árvores	Positivo	Negativo
Preservar	4	2
Plantar	16	7
Total =	20	9

No cenário negativo, o sequestro anual de carbono pelas árvores destinadas à preservação é estimado em cerca de 2 ton CO₂eq, enquanto as árvores planeadas para serem plantadas têm a capacidade de sequestrar aproximadamente 7 ton CO₂eq por ano. Desse total de 9 toneladas de carbono sequestrado anualmente, aproximadamente 78% é atribuído à categoria de árvores que serão plantadas, enquanto os restantes 22% são creditados ao grupo de árvores destinadas à preservação.

É interessante notar que, ao comparar os dois cenários, positivo e negativo, podemos observar que as percentagens relativas ao sequestro anual de carbono equivalente permanecem praticamente iguais. Independentemente das variações nas estimativas de sequestro de carbono para as árvores a serem preservadas e plantadas em diferentes cenários, a contribuição relativa desses grupos para o sequestro total de carbono permanece constante. Isso sugere que a proporção entre o sequestro de carbono das árvores plantadas e das árvores preservadas é um aspeto relativamente estável nas avaliações, apesar das mudanças nos valores absolutos de sequestro de carbono.

A seguinte análise considera o impacto da remoção de árvores no sequestro de carbono e fornece uma perspetiva temporal sobre o processo de recuperação do equilíbrio de carbono nos diferentes cenários após a intervenção:

- **Considerando o Valor do Potencial de Sequestro de Carbono Anual num Cenário Positivo (Tabela 12)**

Tendo em conta o cenário otimista (valores máximos de DAP), no que toca à capacidade de sequestro de carbono do grupo das árvores a eliminar estima-se um valor de 255 ton CO₂ eq (Tabela 10). Após a implementação da intervenção projetada, que abrange tanto o plantio de novas árvores quanto a remoção das árvores existentes, estima-se um período de aproximadamente 13 anos necessários para que a quantidade total de carbono sequestrado pelas árvores no Parque retorne aos níveis observados antes da intervenção.

No cenário considerado como médio (valores médios de DAP), a estimativa aponta que as árvores destinadas à eliminação contribuem com um sequestro anual de 146 ton CO₂eq. Nesse contexto, é importante observar que a remoção das árvores implica uma diminuição na quantidade total de carbono sequestrado pelas árvores no Parque. Portanto, para restabelecer o equilíbrio de carbono após a intervenção, estima-se que será necessário um período de aproximadamente 7 anos.

Em resumo, sob uma perspetiva mais pessimista (valores mínimos de DAP), considerando um sequestro anual de carbono de 36 ton CO₂eq pelo grupo de árvores destinadas à eliminação (Tabela 10), podemos inferir que levará apenas cerca de dois anos para que os níveis de sequestro de carbono retornem aos valores observados antes da intervenção, devido ao potencial de sequestro ser muito baixo.

- **Considerando o Valor do Potencial de Sequestro de Carbono Anual num Cenário Negativo: (Tabela 12)**

Sob uma perspetiva otimista (valores máximos de DAP), é factível fazer uma estimativa que aponta para um período de aproximadamente 28 anos para alcançar níveis de sequestro de carbono nas árvores semelhantes aos observados antes da intervenção.

Isso implica que, no cenário mais positivo, o sequestro de carbono pelas novas árvores plantadas e pelas árvores remanescentes no Parque levará cerca de 28 anos para compensar a perda inicial de sequestro de carbono causada pela remoção das árvores.

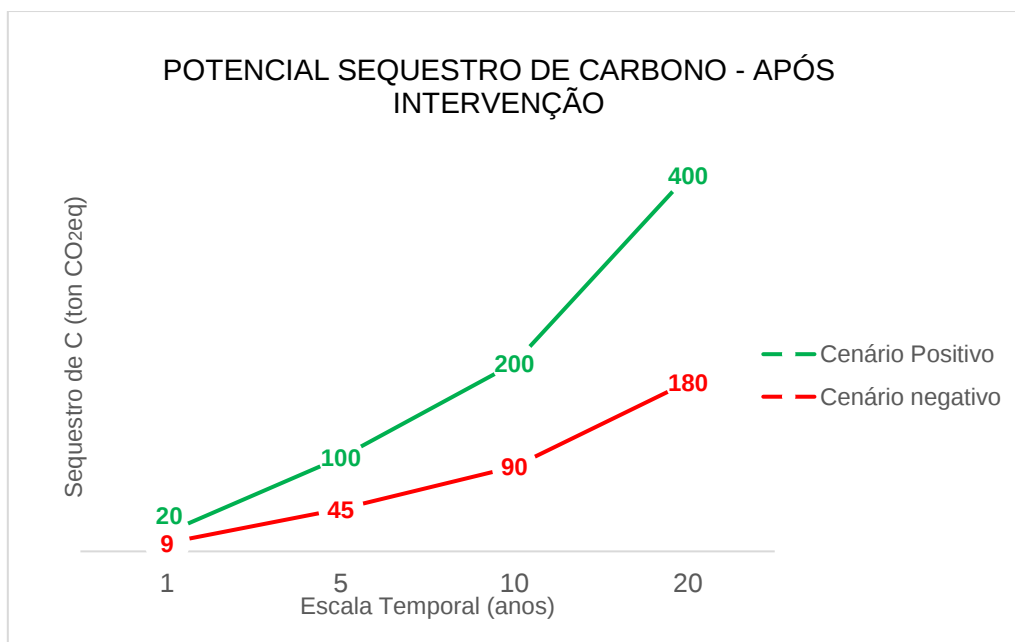
No cenário de intervenção considerado como médio (valores médios de DAP), podemos prever que será necessário um período de aproximadamente 16 anos para igualar o valor de sequestro de carbono nas árvores neste parque.

Por último, numa ótica mais pessimista (valores mínimos de DAP) ressalva-se a necessidade de um período de tempo de cerca de 4 anos para compensar as perdas de carbono devido à remoção de um conjunto de espécies.

5.3.4. Previsões Futuras

De forma a estimar previsões futuras calculou-se o potencial de sequestro de carbono das árvores após intervenção no primeiro ano, ao fim de 5, 10 e 20 anos.

Os resultados dessas estimativas são ilustrados no gráfico a seguir, [Figura 10](#), que permite visualizar as projeções futuras do potencial de sequestro de carbono nas árvores a serem preservadas e nas árvores a plantar. Essa representação gráfica oferece uma visão mais ampla dos possíveis intervalos de valores dos níveis de sequestro de carbono ao longo do tempo, considerando para um cenário positivo e um cenário negativo.



[Figura 10](#): Potencial de Sequestro de Carbono com escala temporal de 1, 5, 10 e 20 anos.

Ao analisarmos o gráfico, podemos concluir que, no primeiro ano, há uma estimativa de sequestro de carbono que varia de um mínimo de 9 ton CO₂eq a um máximo de 20 ton CO₂eq. Ao completar 5 anos, as árvores têm um potencial de sequestro que varia de um mínimo de cerca de 45 ton CO₂eq a um máximo de 100 toneladas de CO₂eq. Quando o marco de 10 anos é atingido, os valores de sequestro variam entre 90 e 200 ton CO₂eq. Por fim, ao final de 20 anos, o potencial de sequestro pode atingir valores mínimos de cerca de 180 ton CO₂eq ou valores máximos de cerca de 400 ton CO₂eq .

Esses dados ilustram a importância de considerar diferentes cenários ao avaliar o potencial de sequestro de carbono da biomassa vegetal, pois as oscilações de diversas variáveis tornam os valores de sequestro de carbono, imprevisíveis com taxas de flutuação muito abrangentes.

6. Conclusão

O presente estudo demonstrou que o Parque Alameda de Cartes desempenha um papel importante no sequestro de carbono, com uma média estimada de aproximadamente 1600 ton CO₂ eq (451 toneladas por hectare), no solo, sendo que, antes da intervenção este tinha capacidade de sequestrar cerca de 8 ton CO₂ eq por ano.

A biomassa presente no parque também contribui para o sequestro de carbono, com as árvores existentes antes da intervenção capturando cerca de 420 ton CO₂ eq. A maior parte desse carbono foi sequestrado pelas árvores que estão previstas serem preservadas, 275 ton CO₂ eq, enquanto o restante foi sequestrado pelas árvores que foram propostas para serem removidas, 146 ton CO₂ eq. Além disso, após a implementação do projeto de intervenção planeado, prevê-se um potencial de sequestro de carbono anual de 20 ton CO₂ eq apostando num cenário otimista e 9 ton num cenário mais conservador. Serão necessários sete anos, no cenário otimista, após a conclusão do projeto para que os níveis de sequestro de carbono retornem aos valores estimados antes da intervenção, enquanto no cenário mais pessimista, esse período se estenderá para dezasseis anos.

Os resultados deste estudo são relevantes para os programas de gestão de carbono em cidades, especialmente no que diz respeito à gestão de parques urbanos e sua importância não apenas como espaços estéticos e recreativos, mas também como componentes essenciais na mitigação das mudanças climáticas, devido à sua capacidade de armazenar e sequestrar carbono.

Os resultados obtidos destacaram a importância de abordar algumas lacunas de conhecimento para aprimorar a precisão na quantificação do potencial de sequestro de carbono. A presença de deficiências substanciais no nosso conhecimento está associada a uma série de fatores que exercem influência considerável sobre o potencial de sequestro de carbono em ecossistemas, como por exemplo, a pluviosidade e a temperatura. Estes elementos são manifestamente variáveis e dinâmicos, caracterizados por mudanças ao longo do tempo e, consequentemente, afetam a capacidade de armazenamento de carbono em sistemas naturais. Nesse sentido, é de ressaltar que a previsão dos valores de sequestro de carbono por árvores e solo não pode ser realizada de maneira linear dadas as complexidades inerentes ao processo.

Após a conclusão deste estudo, conseguimos desenvolver uma metodologia para estimar o sequestro de carbono, tanto no solo quanto na biomassa vegetal, no parque Alameda de Cartes.

Referências Bibliográficas

1. Strohbach, M. W., Arnold, E. & Haase, D. The carbon footprint of urban green space-A life cycle approach. *Landsc Urban Plan* **104**, 220–229 (2012).
2. Anjali, K., Khuman, Y. S. C. & Sokhi, J. A review of the interrelations of terrestrial carbon sequestration and urban forests. *AIMS Environmental Science* vol. 7 464–485 Preprint at <https://doi.org/10.3934/environsci.2020030> (2020).
3. Richter, S., Haase, D., Thestorff, K. & Makki, M. Carbon Pools of Berlin, Germany: Organic Carbon in Soils and Aboveground in Trees. *Urban For Urban Green* **54**, (2020).
4. Pouyat, R., Groffman, P., Yesilonis, I. & Hernandez, L. *Soil carbon pools and fluxes in urban ecosystems*. www.elsevier.com/locate/envpol.
5. Sarpong, K. A., Xu, W., Gyamfi, B. A. & Ofori, E. K. A step towards carbon neutrality in E7: The role of environmental taxes, structural change, and green energy. *J Environ Manage* **337**, (2023).
6. Anjali, K., Khuman, Y. S. C. & Sokhi, J. A review of the interrelations of terrestrial carbon sequestration and urban forests. *AIMS Environmental Science* vol. 7 464–485 Preprint at <https://doi.org/10.3934/environsci.2020030> (2020).
7. Abbas, S., Gui, P., Chen, A. & Ali, N. The effect of renewable energy development, market regulation, and environmental innovation on CO₂ emissions in BRICS countries. *Environmental Science and Pollution Research* **29**, 59483–59501 (2022).
8. Sociedade. O que é a neutralidade das emissões de carbono e como pode ser atingida até 2050? *Parlamento Europeu* https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20190926STO62270/como-a-ue-podera-atingir-a-neutralidade-carbonica-ate-2050?at_campaign=20234-Green&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=neutralidade%20carb%C3%B3nica&at_topic=Carbon_Neutral&at_location=PT&gclid=EAlaIQobChMI1dzLvfcC_wIVBAQGAB0XMg1xEAAAYASAAEgK6yPD_BwE (2023).

9. Conselho da União Europeia. Alterações climáticas: medidas que a UE está a tomar. *Alterações climáticas: medidas que a UE está a tomar* <https://www.consilium.europa.eu/pt/policies/climate-change/> (2023).
10. Florestas. O que significa carbono zero e neutralidade carbónica? *O que significa carbono zero e neutralidade carbónica?* <https://florestas.pt/saiba-mais/o-que-significa-carbono-zero-e-neutralidade-carbonica/> (2021).
11. APA, F. A. R. P. *ROTEIRO PARA A NEUTRALIDADE CARBÓNICA 2050 (RNC2050)*. (2019).
12. Sasaki, N. & Kim, S. Biomass carbon sinks in Japanese forests: 1966-2012. *Forestry* **82**, 105–115 (2009).
13. Tito, M. R., León, M. C. & Porro, R. *Guia para determinação de carbono em pequenas propriedades rurais*. (ICRAF, 2009).
14. Lal, R. A., Follett, R. F. & Kimble, J. M. Achieving soil carbon sequestration in the United States: A challenge to the policy makers. *Soil Sci* **168**, 827–845 (2003).
15. Zhao, D., Cai, J., Xu, Y., Liu, Y. & Yao, M. Carbon sinks in urban public green spaces under carbon neutrality: A bibliometric analysis and systematic literature review. *Urban Forestry and Urban Greening* vol. 86 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128037> (2023).
16. Iberdrola. Sumidouros de carbono. *Sumidouros de carbono, um sopro de oxigênio natural* <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/sumidouros-carbono> (2023).
17. Millward, A. A. & Sabir, S. 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 (2011).
18. Richter, S., Haase, D., Thestorff, K. & Makki, M. Carbon Pools of Berlin, Germany: Organic Carbon in Soils and Aboveground in Trees. *Urban For Urban Green* **54**, (2020).
19. Gregory McPherson, Simpson, J. R. & Peperr Scott E Macoo Qingfu Xiao, P. J. *Benefit-Cost Analysis of Fort Collins' Municipal Forestt*. (2003).
20. Zhuang, Q. *et al.* Modeling carbon storage in urban vegetation: Progress, challenges, and opportunities. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* vol. 114 Preprint at <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.103058> (2022).

21. ANAMIKA, A. & PRADEEP, C. Urban Vegetation and Air Pollution Mitigation: Some Issues from India. *Chinese Journal of Urban and Environmental Studies* **04**, 1650001 (2016).
22. Montagnini, F. & Nair, P. K. R. Carbon sequestration: An underexploited environmental benefit of agroforestry systems. *Agroforestry Systems* **61–62**, 281–295 (2004).
23. Bunce, R. G. H. Biomass and Production of Trees in a Mixed Deciduous Woodland: I. Girth and Height as Parameters for the Estimation of Tree Dry Weight. *J Ecol* **56**, 759 (1968).
24. Ketterings, Q. M., Coe, R., van Noordwijk, M., Ambagau', Y. & Palm, C. A. Reducing uncertainty in the use of allometric biomass equations for predicting above-ground tree biomass in mixed secondary forests. *For Ecol Manage* **146**, 199–209 (2001).
25. Vismara, E. de S. Mensuração da biomassa e construção de modelos para construção de equações de biomassa. (Universidade de São Paulo, 2009). doi:10.11606/D.11.2009.tde-18052009-155116.
26. Vogt, J. M., Watkins, S. L., Mincey, S. K., Patterson, M. S. & Fischer, B. C. Explaining planted-tree survival and growth in urban neighborhoods: A social–ecological approach to studying recently-planted trees in Indianapolis. *Landsc Urban Plan* **136**, 130–143 (2015).
27. Delbari, A. S. *Carbon sequestration in Pune University Campus with special reference to Geographical information system Determination of heavy metal pollution in vegetables grown along the roadside View project phytoremediation View project*. <https://www.researchgate.net/publication/270393173>.
28. Delbari, A. S. *Carbon sequestration in Pune University Campus with special reference to Geographical information system Determination of heavy metal pollution in vegetables grown along the roadside View project phytoremediation View project*. <https://www.researchgate.net/publication/270393173>.
29. T. Vashum, K. Methods to Estimate Above-Ground Biomass and Carbon Stock in Natural Forests - A Review. *J Ecosyst Ecography* **02**, (2012).
30. Oliveira, R. RODRIGO ORDONE DE OLIVEIRA Sequestro de carbono em um projeto de restauração de Mata de a Galeria no Jardim. (2012).

31. Dickinson, D. C. & Hobbs, R. J. Cultural ecosystem services: Characteristics, challenges and lessons for urban green space research. *Ecosyst Serv* **25**, 179–194 (2017).
32. Yimer, F., Ledin, S. & Abdelkadir, A. Soil property variations in relation to topographic aspect and vegetation community in the south-eastern highlands of Ethiopia. *For Ecol Manage* **232**, 90–99 (2006).
33. Bosatta, E. & Ågren, G. I. Theoretical analyses of soil texture effects on organic matter dynamics. *Soil Biol Biochem* **29**, 1633–1638 (1997).
34. Hassink, J., Whitmore, A. P. & Kubát, J. Size and density fractionation of soil organic matter and the physical capacity of soils to protect organic matter. *European Journal of Agronomy* **7**, 189–199 (1997).
35. Lorenz, K. & Lal, R. The Depth Distribution of Soil Organic Carbon in Relation to Land Use and Management and the Potential of Carbon Sequestration in Subsoil Horizons. *Advances in Agronomy* **88**, 35–66 (2005).
36. Uhlířová, E., Šantrůčková, H. & Davidov, S. P. Quality and potential biodegradability of soil organic matter preserved in permafrost of Siberian tussock tundra. *Soil Biol Biochem* **39**, 1978–1989 (2007).
37. Amelung, W., Brodowski, S., Sandhage-Hofmann, A. & Bol, R. Chapter 6 Combining Biomarker with Stable Isotope Analyses for Assessing the Transformation and Turnover of Soil Organic Matter. *Advances in Agronomy* **100**, 155–250 (2008).
38. Deepak, S. S. & Agrawal, M. Growth and yield responses of wheat plants to elevated levels of CO₂ and SO₂, singly and in combination. *Environmental Pollution* **104**, 411–419 (1999).
39. Guo, L. B. & Gifford, R. M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Glob Chang Biol* **8**, 345–360 (2002).
40. Rawlins, B. G. *et al.* Methods for estimating types of soil organic carbon and their application to surveys of UK urban areas. *Soil Use Manag* **24**, 47–59 (2008).
41. Bae, J. & Ryu, Y. Land use and land cover changes explain spatial and temporal variations of the soil organic carbon stocks in a constructed urban park. *Landsc Urban Plan* **136**, 57–67 (2015).

42. Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McHugh, N., Gaston, K. J. & Leake, J. R. Organic carbon hidden in urban ecosystems. *Sci Rep* **2**, 963 (2012).
43. Wan, C., Dadi, S., Walker, K. & Deng, A. Roadmap: Soil sequestration. *Why soil is the next frontier for storing carbon right under our feet*. (2022).
44. International Organization for Standardization. *ISO-11265-1994- EC*. (1994).
45. International Organization for Standardization. *ISO-10390-2006_pH*. (2006).
46. Hoogsteen, M. J. J., Lantinga, E. A., Bakker, E. J., Groot, J. C. J. & Tittone, P. A. Estimating soil organic carbon through loss on ignition: effects of ignition conditions and structural water loss. *Eur J Soil Sci* **66**, 320–328 (2015).
47. Nelson, D. W. & Sommers, L. E. Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 3 Chemical methods* 961–1010 (1996).
48. Silva, L. Curricular Unit - Environmental Sustainability Assessment. *Calculation Procedures for Quantifying the Sequestration of CO₂ in Trees and Soils* Preprint at (2022).
49. Pribyl, D. W. A critical review of the conventional SOC to SOM conversion factor. *Geoderma* **156**, 75–83 (2010).
50. Potencial de Sequestro de Carbono. <http://www.soc.hawaii.edu/mora/Tree%20carbon%20storage%20potential.html> (2023).
51. Da Costa, R., Ferreira, C., Tinoco, J., Paisagista, A. & Botânico Do Porto, J. *Capacidade de sequestro de carbono do Jardim Botânico do Porto Supervisora*. (2020).
52. Cairns, M. A., Brown, S., Helmer, E. H. & Baumgardner, G. A. Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecologia* **111**, 1–11 (1997).
53. Kirby, K. R. & Potvin, C. Variation in carbon storage among tree species: Implications for the management of a small-scale carbon sink project. *For Ecol Manage* **246**, 208–221 (2007).
54. Martin, A. R. & Thomas, S. C. A Reassessment of Carbon Content in Tropical Trees. *PLoS One* **6**, e23533 (2011).

55. Ariluoma, M., Ottelin, J., Hautamäki, R., Tuhkanen, E. M. & Mänttari, M. Carbon sequestration and storage potential of urban green in residential yards: A case study from Helsinki. *Urban For Urban Green* **57**, (2021).
56. APA. Agência Europeia do Ambiente. <https://www.eea.europa.eu/articles/forests-health-andclimate-change/key-facts/trees-help-tackle-climate-change>. (2023).
57. Agência Europeia do Ambiente. Trees help tackle climate change. *Trees help tackle climate change* <https://www.eea.europa.eu/articles/forests-health-and-climate-change/key-facts/trees-help-tackle-climate-change> (2012) doi:10.1017/S0266467401001055.
58. Fourie, M. Trace and Save. *What can electrical conductivity tell us about our soil?* (2023).
59. Sumra, Y., Payam, S. & Zainah, I. The pH of Cement-based Materials: A Review. *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.* **35**, 908–924 (2020).
60. DeForest, J. L. & Otuya, R. K. Soil nitrification increases with elevated phosphorus or soil pH in an acidic mixed mesophytic deciduous forest. *Soil Biol Biochem* **142**, 107716 (2020).
61. Raciti, S. M. *et al.* Accumulation of Carbon and Nitrogen in Residential Soils with Different Land-Use Histories. *Ecosystems* **14**, 287–297 (2011).
62. Contosta, A. R., Lerman, S. B., Xiao, J. & Varner, R. K. Biogeochemical and socioeconomic drivers of above- and below-ground carbon stocks in urban residential yards of a small city. *Landsc Urban Plan* **196**, 103724 (2020).
63. Du, J., Yu, M., Cong, Y., Lv, H. & Yuan, Z. Soil Organic Carbon Storage in Urban Green Space and Its Influencing Factors: A Case Study of the 0–20 cm Soil Layer in Guangzhou City. *Land (Basel)* **11**, 1484 (2022).
64. Morel, J. L., Chenu, C. & Lorenz, K. Ecosystem services provided by soils of urban, industrial, traffic, mining, and military areas (SUITMAs). *J Soils Sediments* **15**, 1659–1666 (2015).
65. Riddle, R. L., Siebecker, M. G., Weindorf, D. C., Shaw, R. K. & Scharenbroch, B. C. Soils in urban and built environments: Pedogenic processes, characteristics, mapping, and classification. *Advances in Agronomy* **173**, 227–255 (2022).

66. Edmondson, J. L., Davies, Z. G., McCormack, S. A., Gaston, K. J. & Leake, J. R. Land-cover effects on soil organic carbon stocks in a European city. *Science of The Total Environment* **472**, 444–453 (2014).
67. Pouyat, R. V., Yesilonis, I. D. & Golubiewski, N. E. A comparison of soil organic carbon stocks between residential turf grass and native soil. *Urban Ecosyst* **12**, 45–62 (2009).
68. Schmitt-Harsh, M., Mincey, S. K., Patterson, M., Fischer, B. C. & Evans, T. P. Private residential urban forest structure and carbon storage in a moderate-sized urban area in the Midwest, United States. *Urban For Urban Green* **12**, 454–463 (2013).
69. Sun, Y., Ma, J. & Li, C. Content and densities of soil organic carbon in urban soil in different function districts of Kaifeng. *Journal of Geographical Sciences* **20**, 148–156 (2010).
70. Canedoli, C., Ferrè, C., El Khair, D. A., Padoa-Schioppa, E. & Comolli, R. Soil organic carbon stock in different urban land uses: high stock evidence in urban parks. *Urban Ecosyst* **23**, 159–171 (2020).

Anexo 1 – Figura



Figura 11: Recolha de amostras de solo.

Anexo 2 – Coordenadas Geográficas

Tabela 13: Coordenadas geográficas de cada ponto de amostragem.

Amostras	Coordenadas Geográficas
P1.1	41°09'32.9"N 8°34'28.1"W
P1.2	41°09'33.4"N 8°34'27.4"W
P1.3	41°09'34.5"N 8°34'27.6"W
P1.4	41°09'35.3"N 8°34'27.5"W
P2.1	41°09'30.4"N 8°34'26.9"W
P2.2	41°09'30.6"N 8°34'26.3"W
P2.3	41°09'30.8"N 8°34'26.6"W
P2.4	41°09'31.4"N 8°34'27.0"W
P2.5	41°09'31.4"N 8°34'26.4"W
P3A.1	41°09'26.3"N 8°34'22.5"W
P3A.2	41°09'25.9"N 8°34'22.1"W
P3A.3	41°09'27.7"N 8°34'22.9"W
P3B.1	41°09'27.6"N 8°34'20.5"W
P4.1	41°09'37.3"N 8°34'27.6"W
P4.2	41°09'37.8"N 8°34'26.9"W

Amostras Coordenadas Geográficas

P5.1	41°09'32.4"N 8°34'25.6"W
P5.2	41°09'32.6"N 8°34'24.9"W
P6.1	41°09'21.2"N 8°34'17.5"W
P6.2	41°09'21.2"N 8°34'18.5"W

Anexo 3 – Condutividade Elétrica

Tabela 14: Medições da Condutividade Elétrica para as duas réplicas de cada amostra.

Réplica 1

Réplica 2

	Número de Leituras					C.E. Média (uS/cm)	Número de Leituras					C.E. Média (uS/cm)
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5	
P1.1A	99,9	103,3	104,2	104,4	104,6	103,3	103,9	106	106,8	106,4	106,7	106,0
P1.1B	100,1	100	100,2	100,4	-	100,2	95,8	99,4	99,5	99,4	99,6	98,7
P1.2A	94,6	98,2	98,6	98,8	99	97,8	91,9	93,7	93,4	93,8	94	93,4
P1.3A	89,7	92,1	93,2	93,5	-	92,1	91,2	92,5	98	98,4	98,3	95,7
P1.4A	81,3	85,7	85,8	86	85,9	85,0	80,3	85,8	86,4	86,5	86,5	85,1
P2.1A	79	81,2	81,8	81,9	81,7	81,1	73,4	77,4	78	78,2	78,4	77,1
P2.1B	58,8	61,6	62,2	62,2	62,1	61,4	62,9	63,5	63,5	63,5	-	63,4
P2.1C	71,1	71,8	68,9	71,8	72	71,1	63,6	63,9	64,5	60,3	64	63,3
P2.1D	69,5	67,5	69,3	69,5	69,8	69,1	63,5	69,8	69,8	70,2	70,4	68,7
P2.1E	81,3	81	81	80,6	81,3	81,0	88,6	91,5	91,8	91,8	92	91,1
P2.2A	96,9	98,2	99,8	99,7	99,8	98,9	112,6	111,8	112,1	112,6	112,6	112,3
P2.3A	89,6	91,6	91,9	92	92,1	91,4	66,9	69,6	70,7	70,6	70,6	69,7
P2.4A	197,9	195,6	197,9	197,9	198,2	197,5	169,3	173,8	174,5	174,6	175,1	173,5
P2.5A	79,7	83,6	84	84,1	84,4	83,2	93,3	97,1	97,2	97,5	97,4	96,5
P2.5B	96,8	95,9	96,7	96,7	96,8	96,6	125	131,2	131,8	131,9	132	130,4
P2.5C	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
P3.A.1A	84,7	84	84,6	84,1	84,7	84,4	61,3	60,9	57,2	61,4	61,2	60,4
P3.A.2A	131,5	130,6	129,4	131,4	131,6	130,9	123,7	126,8	127	126,8	-	126,1
P3.A.3A	113,4	116,9	117,1	117,3	117,2	116,4	106,5	106,4	106,4	106,5	-	106,5
P3.B.1A	112,5	111,8	112,3	112,5	112,4	112,3	114,9	114,4	114,6	115	114,8	114,7
P3.B.1B	107,3	106,7	106,9	106,8	107	106,94	98,3	100	100,1	100,3	100,1	99,8
P4.1.A	139,2	142,4	144,3	144,7	144,5	143,0	147	152,5	154,3	154,6	154,7	152,6
P4.2.A	104	105,5	105,5	5,7	105,6	85,3	110,2	112,1	112,6	112,6	112,7	112,0

Réplica 1

Réplica 2

	Número de Leituras							Número de Leituras					
P4.2.B	113,1	109,3	112,7	112,5	113	112,12		83,8	84,1	84,2	84,4	84,2	
P5.1A	83,3	85,4	85,6	85,8	85,8	85,2	77,1	79,3	79,5	79,7	-	78,9	
P5.2A	75,9	81,8	82,4	82,5	82,2	80,96	76,8	78	78	77,6	77,7	77,6	
P6.1A	87,2	89,2	89,1	89,3	89,4	88,8	94,8	96,4	96,6	96,8	96,9	96,3	
P6.1B	76,9	76,9	76,9	76,8	-	76,9	78,3	81,2	81,9	81,9	82	81,1	
P6.2A	188,3	192,5	193,6	194	194	192,5	181,6	187,4	190,5	190,5	190,5	188,1	

*quantidade de amostra insuficiente para realizar medição.

Tabela 15: Condutividade elétrica média das amostras em cada área de estudo.

Área do Parque	Profundidade (cm)	C.E. Média (µS/cm)
Horta da Oliveira	0-20	94,8
	20-40	99,4
Aterro de Resíduos de Construção	0-20	108,2
	20-40	85,4
	40-60	80
	60-80	68,7
	80-100	85,4
Clareira	0-20	104,1
	20-40	113,1
Terreno Expectante	0-20	123,4
	20-40	97,7
Assento de Lavoura	0-20	80,6
Talude Rodoviário	0-20	141,6
	20-40	78,4

Anexo 4 – pH

Tabela 16: Valores médios do pH nas diferentes áreas do parque com profundidades variáveis.

Área do Parque	Profundidade (cm)	pH
Horta da Oliveira	0-20	6,54
	20-40	6,8
Aterro de Resíduos de Construção	0-20	6,42
	20-40	6,45
	40-60	6,53
	60-80	5,84
	80-100	6,32
Clareira	0-20	6,44
	20-40	6,61
Terreno Expectante	0-20	6,64
	20-40	6,11
Assento de Lavoura	0-20	5,61
Talude Rodoviário	0-20	6,51
	20-40	5,18

Tabela 17: Valores de pH para cada amostra com respetiva média e desvio-padrão.

	pH		
	Rep1	Rep2	Média ± D.P.
P1.1A	7,30	7,34	7,32 ± 0,03
P1.1B	6,79	6,80	6,8 ± 0,01
P1.2A	7,13	7,14	7,14 ± 0,01
P1.3A	5,45	5,49	5,47 ± 0,03
P1.4A	6,23	6,21	6,22 ± 0,01
P2.1A	6,06	6,04	6,05 ± 0,01
P2.1B	6,14	6,11	6,13 ± 0,02
P2.1C	6,35	6,36	6,36 ± 0,01
P2.1D	5,84	5,83	5,84 ± 0,01
P2.1E	6,32	6,31	6,32 ± 0,01
P2.2A	5,67	5,63	5,65 ± 0,03
P2.3A	5,71	5,72	5,72 ± 0,01
P2.4A	8,01	8,01	8,01 ± 0,00
P2.5A	6,66	6,64	6,65 ± 0,01
P2.5B	6,75	6,78	6,77 ± 0,02
P2.5C	6,70	6,70	6,7 ± 0,00

P3. A.1A	6,12	6,13	$6,13 \pm 0,01$
P3. A.2A	6,84	8,83	$7,84 \pm 0,01$
P3. A.3A	6,67	6,67	$6,67 \pm 0,01$
P3. B.1A	6,24	6,22	$6,23 \pm 0,09$
P3. B.1B	6,61	6,60	$6,61 \pm 0,00$
P4.1. A	7,46	7,46	$7,46 \pm 0,00$
P4.2. A	5,83	5,79	$5,81 \pm 0,03$
P4.2. B	6,10	6,11	$6,11 \pm 0,01$
P5.1A	5,57	5,51	$5,54 \pm 0,04$
P5.2A	5,66	5,68	$5,67 \pm 0,01$
P6.1A	5,68	5,67	$5,68 \pm 0,01$
P6.1B	5,18	5,17	$5,18 \pm 0,01$
P6.2A	7,36	7,33	$7,35 \pm 0,02$

Anexo 5 – Matéria Orgânica

Tabela 18: Percentagem de Matéria Orgânica no solo.

Matéria Orgânica no Solo (%MOS)

Amostra	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio-Padrão
P1.1A	7,24	7,33	7,44	7,34	0,1
P1. 1B	4,58	4,18	4,22	4,32	0,22
P1.2A	6,95	7,18	6,84	6,99	0,17
P1.3A	6,4	6,63	6,47	6,5	0,12
P1.4A	4,01	3,87	3,85	3,91	0,09
P2.1A	6,62	7,02	6,86	6,83	0,2
P2.1B	2,92	2,38	2,7	2,66	0,27
P2.1C	3,61	3,45	3,64	3,57	0,1
P2.1D	3,48	3,39	3,45	3,44	0,04
P2.1E	3,27	3,43	3,37	3,36	0,08
P2. 2A	6,9	6,93	7,14	6,99	0,13
P2. 3A	5,09	4,63	4,79	4,84	0,23
P2. 4A	4,95	5,06	5,09	5,03	0,07
P2. 5A	5,25	5,23	5,08	5,19	0,09
P2. 5B	5,19	4,9	4,97	5,02	0,15
P2. 5C	4,31	3,95	4,18	4,15	0,18
P5.1A	6,01	6,13	6,12	6,09	0,07
P5.2A	7,73	7,72	7,54	7,66	0,11
P3A.1A	3,78	3,93	-	3,85	0,11
P3A.2A	6,31	6,36	-	6,34	0,03
P3A.3A	5,18	6,38	-	5,78	0,85
P3B.1A	6,86	7,09	-	6,97	0,16
P3B.1B	5,87	6,31	-	6,09	0,31
P4.1A	4,38	5,52	-	4,95	0,8
P4.2A	7,33	8,02	-	7,67	0,49
P4.2B	4,26	4,8	-	4,53	0,38
P6.1A	5,24	6,13	-	5,69	0,63
P6.1B	5,55	6,02	-	5,78	0,33
P6.2A	3,98	4,39	-	4,18	0,29

Tabela 19: Percentagem de carbono orgânico no solo em todas as amostras.

Carbono Orgânico no Solo (%C)					
Amostra	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média	Desvio-Padrão
P1.1A	4,2	4,25	4,32	4,25	0,06
P1.B	2,65	2,42	2,45	2,51	0,13
P1.2A	4,03	4,17	3,97	4,06	0,1
P1.3A	3,71	3,85	3,75	3,77	0,07
P1.4A	2,33	2,24	2,24	2,27	0,05
P2.1A	3,84	4,07	3,98	3,96	0,12
P2.1B	1,69	1,38	1,56	1,55	0,16
P2.1C	2,1	2	2,11	2,07	0,06
P2.1D	2,02	1,97	2	1,99	0,02
P2.1E	1,9	1,99	1,95	1,95	0,05
P2. 2A	4	4,02	4,14	4,05	0,08
P2. 3A	2,95	2,68	2,78	2,81	0,14
P2. 4A	2,87	2,94	2,95	2,92	0,04
P2. 5A	3,04	3,03	2,95	3,01	0,05
P2. 5B	3,01	2,84	2,88	2,91	0,09
P2. 5E	2,5	2,29	2,43	2,4	0,1
P5.1A	3,49	3,56	3,55	3,53	0,04
P5.2A	4,48	4,48	4,37	4,44	0,06
P3A.1A	2,19	2,28	-	2,23	0,06
P3A.2A	3,66	3,69	-	3,67	0,02
P3A.3A	3,01	3,7	-	3,35	0,49
P3B.1A	3,98	4,11	-	4,05	0,1
P3B.1B	3,4	3,66	-	3,53	0,18
P4.1A	2,54	3,2	-	2,87	0,47
P4.2A	4,25	4,65	-	4,45	0,28
P4.2B	2,47	2,78	-	2,63	0,22
P6.1A	3,04	3,56	-	3,3	0,36
P6.1B	3,22	3,49	-	3,35	0,19
P6.2A	2,31	2,55	-	2,43	0,17

Tabela 20: Percentagem de carbono orgânico no solo nas áreas do parque.

Área do Parque	Profundidade (cm)	COS (%C)	COS 30cm (%C)
Horta da Oliveira	0-20	3,59	3,23
	20-40	2,51	
Aterro de Resíduos de Construção	0-20	3,35	2,98
	20-40	2,23	
	40-60	2,24	
	60-80	1,99	
	80-100	1,95	
Clareira	0-20	4,03	3,92
	20-40	3,69	
Terreno Expectante	0-20	3,44	3,18
	20-40	2,65	
Assento de Lavoura	0-20	3,99	3,99
Talude Rodoviário	0-20	2,66	2,96
	20-40	3,56	