



Escola de Engenharia
Universidade do Minho

João António Correia Marinho Pinto

**A Quantificação de Serviços Ecosistémicos Para a
Classificação de Espaços Verdes Urbanos: um
Estudo de Caso em Guimarães**

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Engenharia Urbana- Cidades Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação de:
Professor Doutor Daniel Souto Rodrigues
Professor Doutor António Avelino Vieira

Maio 2018

Agradecimentos

A realização desta dissertação que representa o culminar do mestrado em Engenharia Urbana contou com importantes apoios e incentivos, sem os quais não se teria tornado realidade e aos quais estarei eternamente grato.

Desde já agradeço a todas as pessoas que contribuíram de forma direta e indireta e me ajudaram na elaboração deste trabalho.

Ao meu orientador, Professor Daniel Souto Rodrigues, pelo acompanhamento ao longo desta etapa, pelas suas competências científicas, por todas as opiniões e críticas construtivas e por toda ajuda na resolução de dúvidas e problemas que foram surgindo ao longo do tempo. Por toda a confiança, paciência e incentivo à exploração das minhas potencialidades, que foram sempre uma constante.

Ao meu coorientador, Professor António Avelino Vieira, que sempre me ajudou sempre que necessário e orientou com prontidão. Pelas sugestões, conselhos e simpatia que em certas alturas foram decisivos.

Aos meus pais, por toda a educação, dedicação e confiança que sempre depositaram em mim. Obrigado por todo o apoio incondicional e financeiro.

À Sónia, por estar sempre do meu lado. Por todo o apoio e força que sempre me transmitiu. Obrigado pelo carinho e por todas as palavras de incentivo.

Aos meus familiares e amigos, por todos os momentos que passamos, um enorme obrigado por estarem sempre comigo.

Resumo

Os espaços verdes em meio urbano fornecem funções e serviços ecossistêmicos determinantes que se traduzem em benefícios para a população urbana. Neles incluem-se a disponibilidade de habitat para a biodiversidade, produtividade primária, retenção de águas pluviais, remoção de poluentes atmosféricos, mitigação de calor, aproximação da população à natureza, promovendo, desta forma saúde e bem-estar. O principal objetivo do presente estudo é desenvolver uma abordagem metodológica para avaliar o estado dos serviços ecossistêmicos, identificando pontos de referência que facilitem a sua monitorização a longo prazo.

A metodologia proposta assenta na elencagem de um conjunto de serviços providenciados pelos ecossistemas urbanos e respetivos indicadores de modo a operacionalizar a sua avaliação. Os serviços prestados pelas áreas verdes urbanas foram agrupados em quatro categorias (produção, regulação, suporte e culturais) consoante a função que desempenham. Para cada categoria selecionaram-se os diferentes serviços desempenhados e, de modo a efetuar a sua quantificação, recorreu-se à aplicação de indicadores sob ferramentas de análise espacial. Esses indicadores de forma geral foram adaptados à realidade dos espaços em estudo de forma a obter resultados conclusivos e comparáveis.

O estudo incide sobre três espaços verdes da cidade de Guimarães – Parque da Cidade, Hortas Pedagógicas e Parque de Lazer da Colina Sagrada – quantificando os serviços produzidos por eles. Após a quantificação dos indicadores foi aplicada a classificação de serviços ecossistêmicos em espaços verdes urbanos (CSEEV). O modelo de avaliação desenvolvido permite que os resultados obtidos através do cálculo dos indicadores sejam comparáveis mesmo que estes possuam grandezas distintas. Foram definidos valores de referência com a finalidade de normalizar os indicadores, viabilizando a sua integração numa classificação final. O CSSEV potencia o desenvolvimento de recomendações específicas ao planeamento urbano, isto porque, ele agrega toda a informação da quantificação expressando o estado atual dos serviços ecossistêmicos nas áreas em observação.

Deste modo, a classificação consiste na agregação dos valores dos resultados normalizados. Os resultados obtidos são expressos em percentagem, permitindo a análise do desempenho global dos serviços ou de apenas um serviço em particular. A tendência dos resultados obtidos no presente caso prático demonstra que os serviços culturais e reguladores são os que apresentam melhores desempenhos em espaços verdes em contextos urbanos. Na realidade, os ecossistemas urbanos são especialmente importantes na provisão de serviços com impacto direto na saúde e segurança. São exemplos disso a purificação do ar, a redução de ruído, o arrefecimento urbano, a recreação e o lazer. Os serviços de produção apresentam desempenhos baixos, com exceção das Hortas Pedagógicas, visto que a produção extensiva de alimentos geralmente ocorre em espaços apropriados localizados na periferia das cidades. Os serviços de suporte são uma pré-condição para a prestação de todos os bens e serviços ecológicos e até mesmo, sociais e económicos. Relacionando-se com a disponibilidade de habitat para espécies, eles contribuem para a manutenção e preservação da diversidade. A análise ao nível da paisagem permite quantificar os serviços ecossistêmicos de suporte relacionados com a conectividade, diversidade e disponibilidade de habitat. Os ecossistemas urbanos de forma geral, não apresentam grandes valores de riqueza biológica, contudo representam um meio efetivo de compensação dos problemas ambientais gerados pelos processos de urbanização.

Do trabalho realizado conclui-se que a avaliação dos serviços ecossistêmicos permite gerar análises e resultados úteis. As ferramentas espaciais aqui desenvolvidas pretendem classificar

espaços verdes no que diz respeito às suas características socio-ecológicas. A sua aplicação pretende auxiliar a administração local na implementação de medidas de restauração do espaço ou melhoramento de serviços ecossistémicos cruciais.

Abstract

Green spaces in an urban environment provide important ecosystem services and functions that translate into benefits to the urban population. Among them, is the availability of habitat to biodiversity, primary production, collection of rain water, removal of toxic atmospheric gases, heat reduction and a more intimate relationship with nature, thus, improving overall health and well-being. The main focus of this study is to develop a methodological approach, relevant for the evaluation of the state of the ecosystem services, identifying key points that facilitate their monitoring in the long term.

The proposed methodology consists in categorizing a group of several provided services by urban ecosystem and the respective indicators in order to operationalize its assessment. The provided services by urban green areas were grouped in four categories (production, regulation, support and cultural) according to their main function. For each category, there were selected different performed services and, in a way to allow its quantification, it was appealed to the application of different indicators under spatial analyzing tools. These indicators were adapted to the situation of specific spaces under analysis in order to reach conclusive and comparable data.

The study covers three distinct green urban spaces in the city of Guimarães - Parque da Cidade, Hortas Pedagógicas and Parque de Lazer da Colina Sagrada - quantifying the produced services by them. After the quantification of the indicators, the classification of ecosystem services in green spaces was applied. The developed model of evaluation allows for observed results to be comparable even if these are greatly unproportioned. Several reference values were established in order to normalize the indicators, allowing its integration in the final score. CSSEV empowers the creation of specific recommendations to the urban planning because it stores all data of quantification, expressing the current state of ecosystemic services in the observed areas.

The classification is reflected through the aggregation of the normalized result values. The analyzed data is expressed in percentages, allowing a specific or global performance analysis of the services. The trend of the observed results, in this case of study, shows that cultural services and regulators are the ones with most potential in green urban spaces. In reality, urban ecosystems hold a special importance in the provision of services with direct impact in health and security. Some examples consist in air purification, noise reduction, urban cooling, and recreation or leisure activities. The production services display a low performance, excluding Hortas Pedagógicas, since food mass production occurs in suitable spaces, located in the city outskirts. Support services are a requirement to all goods and eco-services even social and economical. Relating the habitat availability for the species, they contribute to the maintenance and preservation of diversity. The landscape analysis allows the quantification of support ecosystem services related to the connectivity, diversity and habitat availability. Generally the urban ecosystems don't display high values of biological diversity, however they represent an effective way of compensating the environmental problems generated by the process of urbanization.

The observed study shows us that the evaluation of ecosystem services allow to generate useful analysis and results. The spatial tools here developed intend to classify green spaces relating to their socio-ecological elements, Their usage intends to aid local governors in the establishment of restoration measurements or improvement of crucial ecosystem services.

Índice

Agradecimentos.....	2
Resumo.....	3
Abstract	5
Índice.....	6
Índice de Figuras	8
Índice de Tabelas.....	9
Lista de Acrónimos	10
1. Introdução	11
1.1. Motivação.....	11
1.2. Objetivos	12
1.3. Estrutura da dissertação.....	12
2. Revisão de literatura.....	14
2.1. A origem do conceito de infraestrutura verde	14
2.2. A importância da continuidade/conetividade	15
2.3. A multifuncionalidade das áreas verdes	17
2.3.1. Benefícios ambientais	18
2.3.2. Benefícios sociais	19
2.3.3. Benefícios económicos.....	20
2.4. A oportunidade da multifuncionalidade	21
2.5. Serviços Ecosistémicos.....	22
2.5.1. O conceito de serviços de ecossistema	22
2.5.2. Funções e serviços de ecossistema	24
2.5.3. Bem-estar humano.....	27
2.6. Classificação de serviços ecosistémicos provenientes das áreas urbanas	28
2.6.1. Função de produção	30
2.6.2. Função reguladora	30
2.6.3. Função de suporte.....	35
2.6.4. Função cultural	36
2.7. Classificação de desserviços	38
3. Abordagem metodológica	40
3.1. Estratégia de pesquisa bibliográfica	40
3.2. Metodologia de Investigação	40
I. Identificação de serviços ecosistémicos provenientes de espaços verdes urbanos	41
II. Recolha e seleção de indicadores para a quantificação de serviços de ecossistema ...	41
III. Caracterização das áreas em estudo	41

IV.	Determinação dos valores de referência para aplicação do modelo de avaliação. ...	42
V.	Quantificação dos serviços ecossistêmicos reguladores através dos indicadores selecionados	43
VI.	Quantificação dos serviços ecossistêmicos culturais através dos indicadores selecionados	47
VII.	Quantificação dos serviços ecossistêmicos de suporte através dos indicadores selecionados	49
VIII.	Quantificação dos serviços ecossistêmicos de produção através dos indicadores selecionados	51
4.	Estudo de caso.....	52
4.1.	Enquadramento geográfico do concelho	52
4.2.	Descrição das áreas em estudo	53
4.2.1.	Parque da Cidade.....	53
4.2.2.	Parque de Lazer da Colina Sagrada.....	55
4.2.3.	Hortas pedagógicas	57
	58
4.3.	Avaliação dos serviços ecossistêmicos nas áreas em estudo.....	58
4.3.1.	Serviços reguladores	59
4.3.2.	Serviços culturais	66
4.3.3.	Serviços de suporte.....	69
	71
4.3.4.	Serviços de produção	72
4.4.	Desempenho global das áreas em estudo	73
	73
5.	Conclusões	74
6.	Desenvolvimentos futuros.....	76
	Referências bibliográficas	77

Índice de Figuras

Figura 1 - Parque Central de Nova Iorque projetado por Olmsted.....	15
Figura 2 - Cidade Linear de Soria y Mata (fonte: Alves, 2009).....	16
Figura 3 - Esquema de Secção da Cidade Jardim de Ebenezer Howard (fonte: Howard, 2002) ..	16
Figura 4 -Quadro conceptual para avaliações ecossistémicas à escala da EU (Adaptado de: Maes <i>et al.</i> , (2013)).....	26
Figura 5 - Etapas metodológicas seguidas no estudo	40
Figura 6 - Enquadramento geográfico do concelho de Guimarães (Fonte: wikipédia).....	52
Figura 7 - Localização geográfica dos espaços verdes urbanos em estudo.....	53
Figura 8 - Planta do Parque da Cidade	54
Figura 9 - Planta do Parque de Lazer da Colina Sagrada.....	56
Figura 10 - Planta das Hortas Pedagógicas	58
Figura 11 - Lotes destinados à agricultura urbana nas Hortas Pedagógicas.....	60
Figura 12 - Lago no Parque da Cidade inserido numa clareira de relva	61
Figura 13 - Clareira de relva com árvores circundantes.....	61
Figura 14 - Plantação de pinheiro-manso no Parque da Cidade.....	62
Figura 15 - Espaço verde do Parque de Lazer da Colina Sagrada (via pedonal com pavimento em pedra e o Castelo de Guimarães ao fundo	65
Figura 16 - Paço dos Duques com via de acesso totalmente impermeabilizada	66
Figura 17- Resultado das intersecções das subsecções estatísticas com o buffer de 300 metros que determina a área de serviço de cada um dos espaços verdes	67
Figura 18 - Animais de gado de bico no Parque da Cidade	72

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Tipologia dos serviços ecossistêmicos (TEEB), extraído de MAES et al. (2011).....	29
Tabela 2 - Produção de alimentos	30
Tabela 3 - Regulação do fluxo de água e mitigação de escoamento	31
Tabela 4 - Regulação da temperatura urbana	31
Tabela 5 - Redução do ruído	32
Tabela 6 - Purificação do ar	32
Tabela 7 - Moderação de eventos extremos	33
Tabela 8 - Tratamento de resíduos	33
Tabela 9 - Regulação climática	33
Tabela 10 - Polinização e dispersão de sementes.....	34
Tabela 11 - Disponibilidade de Habitat.....	35
Tabela 12 - Diversidade genética e biológica	35
Tabela 13 - Conetividade ecológica.....	36
Tabela 14 - Recreação de desenvolvimento cognitivo.....	37
Tabela 15- Observação de espécies.....	37
Tabela 16 - Exemplos de desserviços dos ecossistemas nas áreas urbanas.....	39
Tabela 17 - Indicadores selecionados para a quantificação de serviços ecossistêmicos	41
Tabela 18 - Valores de referência para avaliação dos serviços ecossistêmicos	42
Tabela 19 - Normalização dos indicadores	42
Tabela 20 - Valores de PLE com potencial de sequestro de CO ₂ considerados no estudo	44
Tabela 21- Valores de remoção de poluentes atmosféricos para a cobertura arbórea e cobertura herbácea (vegetação rasteira e pequenos arbustos)	46
Tabela 22 - Índices da paisagem utilizados.....	50
Tabela 23 – Características do Parque da cidade	55
Tabela 24 – Características do Parque de Lazer da Colina Sagrada	56
Tabela 25 – Características das Hortas Pedagógicas.....	58
Tabela 26 - Resultados do cálculo de CO ₂ nos espaços verdes em estudo.....	59
Tabela 27 - Resultados obtidos para a remoção de poluentes atmosféricos no Parque de Lazer da Colina Sagrada	62
Tabela 28 - Resultados obtidos para a remoção de poluentes atmosféricos nas Hortas Pedagógicas.....	63
Tabela 29 - Resultados obtidos para a remoção de poluentes atmosféricos no Parque da Cidade	63
Tabela 30 - Cálculo do indicador % de área permeável em relação à % de área permeável	65
Tabela 31 - Exemplo da análise da população residente que intersesta com o buffer na área de serviço da Parque de Lazer da Colina Sagrada	67
Tabela 32 - Resultados da informação estatística analisada para as áreas de serviço	68
Tabela 33 - Resultados finais para a capacidade das áreas de serviço	68
Tabela 34 - Resultados dos índices de mancha	70
Tabela 35- Resultados do índice de complexidade	70
Tabela 36 - Resultados do índice de diversidade	71
Tabela 37 - Disponibilidade de habitat (ha)	71
Tabela 38 - Resultados dos serviços de produção.....	72
Tabela 39 - Desempenho global das áreas em estudo	73

Lista de Acrónimos

PLE	Produtividade Líquida de Ecossistemas
UE	União Europeia
CO ₂	Dióxido de Carbono
O ₂	Oxigénio
O ₃	Ozono
SO ₂	Dióxido de Enxofre
CO	Monóxido de Carbono
NO ₂	Dióxido de Nitrogénio
PM ₁₀	Material Particulado
COVs	Compostos Orgânicos Voláteis
TEEB	<i>The Economics of Ecosystem and Biodiversity</i>
MEA	<i>Millenium Ecosystem Assesment</i>
P	Fósforo
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
K	Potássio
CH ₄	Metano
CSEEV	Classificação de Serviços Ecossistémicos para Espaços Verdes
C	Carbono
INE	Instituto Nacional de Estatística
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization</i>

1. Introdução

1.1. Motivação

A presente dissertação centra-se na investigação dos serviços ecossistémicos para a classificação dos espaços verdes. O estudo recai sobre três espaços verdes da cidade de Guimarães, a qual se candidatou ao prémio Capital Verde Europeia 2020. Essa circunstância levou à consideração do estudo no âmbito das cidades verdes.

Os serviços ecossistémicos proporcionados pelos espaços verdes contribuem de forma direta e indireta para o bem-estar humano (e.g., polinização, purificação da água, redução do ruído, drenagem de águas pluviais, produção de alimentos e efeitos estéticos na paisagem). Neste sentido, torna-se necessário garantir a preservação dos sistemas naturais e contrariar a perda gradual do contacto com a natureza, tendo em conta que, paradoxalmente, as cidades exigem cada vez mais recursos naturais como os alimentos, energias e matérias-primas (Grêt-Regamey e Ulrike, 2012).

As cidades ocupam apenas 2.7% da superfície do globo terrestre (UN, 2010) e são responsáveis por 75% do consumo total de energia, 80% das emissões de gases de efeito de estufa e têm contribuído nocivamente para a degradação dos recursos naturais (Grimm *et al.*, 2008; Grêt-Regamey *et al.*, 2013). A fragmentação e perda de habitats, a perturbação do ciclo hidrológico, o aumento do efeito de ilha de calor são processos recorrentes na cidade atual (de Sá, 2013). Com o decorrente processo de urbanização a que se assiste, prevê-se que em 2020 cerca de 80% da população europeia habitará em centros urbanos (UN, 2010).

Em 2011, a união europeia (UE) adotou uma nova estratégia para a biodiversidade, a qual se estende até 2020. Este plano estratégico visa travar a perda da biodiversidade e a degradação dos serviços ecossistémicos na UE. É pretendido que haja uma intensificação da contribuição da UE para restaurar, dentro das possibilidades, os serviços ecossistémicos e evitar a perda global da biodiversidade (Comissão Europeia, 2011).

O mapeamento de serviços ecossistémicos é considerado fundamental para apoiar os processos de tomada de decisão a diferentes escalas e níveis de políticas (Maes *et al.*, 2012). O motivo da sua inclusão na estratégia de biodiversidade da UE deve-se à necessidade de obter informações espaciais robustas, confiáveis e comparáveis de biodiversidade e serviços ecossistémicos para ajudar a estabelecer a infraestrutura verde da europa e priorizar áreas de restauração ecológica (Zulian *et al.*, 2014).

Admite-se que a infraestrutura verde presente na cidade é o meio mais efetivo de compensação dos problemas ambientais gerados pelos processos de urbanização. Deste modo, este estudo identifica vários ecossistemas de diferentes locais da cidade de Guimarães, revelando os seus múltiplos benefícios para a sociedade e o seu bem-estar. Ao mesmo tempo, contribui também para o desenvolvimento de cidades mais resilientes. De acordo com Elmqvist *et al.* (2015), os serviços ecossistémicos para além de ecológica e socialmente desejáveis são também, na maior parte das vezes, economicamente viáveis.

A análise do conceito de bens e serviços de ecossistema surge não só como uma oportunidade para apoiar as decisões de planeamento da infraestrutura verde urbana, como também a sua posterior gestão ajudará a tirar partido das suas potencialidades (Szumacher, 2011).

1.2. Objetivos

O objetivo principal desta dissertação centra-se na investigação dos serviços ecossistémicos para a classificação dos espaços verdes urbanos. Desta forma, torna-se fundamental a construção de um modelo de classificação de zonas verdes através da criação de mapas. Este modelo permite avaliar o valor dos recursos naturais, integrando o ambiente construído com o ambiente natural, percebendo de que forma os custos da cidade podem ser minimizados.

A proposta efetuada é representada por um conjunto de critérios que expressam os bens e serviços ecossistémicos e os respetivos indicadores com vista a possibilitar a sua operacionalização.

O estudo incide sobre três espaços verdes da cidade de Guimarães – o Parque da Cidade, as Hortas Pedagógicas e o Parque de Lazer da Colina Sagrada - que servem de suporte para a abordagem metodológica a ser considerada.

1.3. Estrutura da dissertação

Este documento encontra-se estruturado numa sequência lógica, de modo a facilitar a leitura e a compreensão do mesmo, com a descrição de tudo o que foi elaborado no âmbito da dissertação em questão.

O capítulo número 1 – capítulo introdutório – diz respeito à introdução e encontra-se dividido em três secções. A “Motivação” que originou a escolha da temática em questão; a secção “Objetivos”, onde são enunciados os objetivos a alcançar com a realização desta dissertação; e a secção presente que, como o próprio nome indica, descreve a estrutura do documento.

O capítulo número 2 diz respeito à revisão de literatura elaborada sobre os assuntos relacionados com o tema de dissertação em questão, que elucidará o leitor acerca do mesmo. Para uma melhor compreensão, também este capítulo se encontra dividido nas seguintes sete diferentes secções: A Origem do Conceito de Infraestrutura Verde, A Importância da Continuidade/Conectividade, A Multifuncionalidade das Áreas Verdes, A Oportunidade da Multifuncionalidade, Serviços Ecossistémicos, Classificação de Serviços Ecossistémicos Provenientes das Áreas Urbanas e Classificação de Desserviços.

No capítulo número 3 é apresentada a abordagem metodológica. Em “Estratégias de Pesquisa Bibliográfica” é descrita como foi efetuada a investigação que suportou a revisão de literatura, em “Metodologias de Investigação” encontra-se uma descrição da metodologia utilizada de modo a alcançar os objetivos delineados.

O capítulo número 4 retrata o estudo de caso em Guimarães na Quantificação de Serviços Ecossistémicos para a Classificação de Espaços Verdes Urbanos. Neste capítulo é apresentado o estudo dos dados utilizados ao longo de todo o trabalho, sendo feita uma apresentação e uma descrição dos mesmos. Esta análise permitiu validar a metodologia proposta no capítulo anterior e são apresentados neste capítulo todos os resultados obtidos, acompanhados da sua análise crítica.

O capítulo número 5 é o capítulo dedicado às “Conclusões”, e tal como o nome indica, será o capítulo onde serão descritas todas as conclusões e reflexões resultantes de todo o trabalho

efetuado. São também mencionados aspetos relacionados com o trabalho futuro e os contributos que poderão advir deste trabalho.

Por último, em “Referências Bibliográficas” encontram-se todas as fontes de estudo que originaram todas as citações e referências utilizadas em todo o documento.

2. Revisão de literatura

Com a expansão da infraestrutura construída, juntamente com o aumento da concentração populacional em meios urbanos, verifica-se uma sociedade progressivamente dissociada dos meios naturais. Esta secção contém uma breve reflexão teórica sobre o papel dos espaços verdes urbanos, das suas funções, usos e benefícios. Para uma melhor organização do tema, este foi dividido em quatro diferentes subsecções: A origem do conceito de infraestrutura verde, A importância da continuidade/conectividade, A multifuncionalidade das áreas verdes e, por último, A oportunidade da multifuncionalidade.

2.1. A origem do conceito de infraestrutura verde

O termo de infra-estrutura verde tem sido constantemente referenciado nas abordagens e concepções relativas às estruturas verdes urbanas. É considerado como um sistema integrado de áreas verdes multifuncionais, que relaciona a cidade com a sua envolvente, em parâmetros infraestruturais biofísicos e sociais integrantes no território (Madureira, 2008). A infraestrutura verde é, portanto, uma nova perspectiva de abordagem aos espaços naturais (e.g., *green belt*, *greenway*, corredor ecológico ou estrutura ecológica).

Apesar da designação de infra-estrutura verde ser relativamente recente, ela possui uma longa história de antecedentes. Diversas propostas de ordenamento das áreas verdes foram-se desenvolvendo desde a revolução industrial de forma a contrariar os problemas ambientais e sociais dos espaços urbanos (Madureira, 2012). É uma herança que acompanha a evolução da paisagem urbana tendo demonstrado uma hábil capacidade para se metamorfosear de acordo com as exigências impostas pelas dinâmicas da própria cidade (França, 2005).

Inicialmente, os espaços urbanos eram de pequena dimensão e tinham na sua envolvente agrícola uma fonte direta de abastecimento. A paisagem envolvente fazia-se sentir dentro da própria urbe e perpetuava o contacto da população urbana com a natureza (França, 2005; Madureira, 2012). Mais tardiamente, nos séculos XVII e XVIII, construíram-se jardins e parques reais como forma de recriação estética da natureza integrada com a construção residencial, um pouco por toda a Europa (Salgueiro, 2005). Posteriormente construíram-se os primeiros jardins públicos. A construção do primeiro jardim público lisboeta foi iniciado em 1764. Inserido na sequência do plano de reconstrução, promovido por Marquês de Pombal após o terramoto, foi descrito por França (2005) como sendo “uma alameda ajardinada e murada, à saída da cidade, primeiro logradouro burguês convidando a novos hábitos de merecido ócio.”

No entanto, é com a Revolução Industrial que ocorrem profundas alterações na consciencialização da importância dos espaços verdes. A complementaridade e dependência da população urbana e da cidade à sua envolvente rural é profundamente alterada com as alterações espaciais, sociais e ambientais decorrentes da Revolução Industrial (Madureira, 2012). Com o crescimento repentino e acentuado da população, a mancha urbana começou a expandir-se e graves problemas ambientais, gerados por uma industrialização descontrolada associados a fracas infraestruturas gerais de saneamento e funcionamento, provocaram uma onda de preocupações higienistas (Madureira, 2012). Os meios urbanos perderam o seu equilíbrio com os meios naturais originando sérios problemas de insalubridade e conseqüente má qualidade de vida. A necessidade de criação de espaços livres, jardins e parques públicos surgiu como resposta para solucionar e melhorar a qualidade de vida urbana. A partir deste momento, o conceito de espaço verde urbano ganha destaque e deixa de estar associado exclusivamente a lugar de encontro de classes dominantes. Passa então a ser percebido como espaço capaz de integrar os princípios ecológicos e

higienistas, reconciliando a cidade com o campo e começa a ser integrado no planeamento urbano (Alves, 2009; Fadigas, 1993; Figueiredo, 2014; Madureira, 2012; Magalhães, 1992; TELLES, 1997).

Um outro grupo de antecedentes demonstra os esforços que se foram desenvolvendo para visionar o conjunto de espaços verdes de uma cidade para além do seu contributo individual, ou seja, como um sistema estruturado na paisagem urbana. Os exemplos mais constantes vão desde as *greenbelt* e as *greenway*, até aos corredores ecológicos ou às estruturas ecológicas. São estas as abordagens espaciais que influenciam o conceito de infra-estrutura verde e que impedem a sua repartição fortuita (Madureira, 2012).

A integração do termo infra-estrutura verde a outras abordagens prévias leva a que alguns a considerem “uma designação nova mas não um novo conceito” (Benedict e McMahon 2002). De várias referências encontradas na literatura retêm-se alguns elementos que nos ajudam a clarificar as ideias chaves deste conceito: o desafio da continuidade/conetividade, a oportunidade da multifuncionalidade e a necessidade de perspetivar o sistema de áreas verdes urbanas como uma infra-estrutura na cidade alargada contemporânea (Benedict e McMahon 2002; Madureira, 2012; Tzoulas *et al.*, 2007).

2.2. A importância da continuidade/conetividade

A continuidade espacial de áreas verdes merece ser destacada pela influência que teve no planeamento da paisagem e pelos benefícios que advêm desta perspetiva. Para além de funções ecológicas como a purificação da atmosfera, o desenvolvimento da estrutura verde numa rede contínua foi orientada para funções urbanas, nomeadamente as de circulação, perceção, e fruição, pelos utilizadores (Madureira, 2012).

Uma das primeiras obras realizadas com este objetivo foi o parque central de Nova Iorque, projetado por Frederick Law Olmsted em finais de oitocentos (Figura 1). Este modelo propôs concretizar o conceito de “pulmão verde” (Magalhães, 1992), de forma a produzir o oxigénio necessário à purificação da atmosfera poluída (TELLES, 1997). Para além deste projeto que constitui um marco na evolução do conceito de espaço verde urbano, Olmsted definiu e implementou ainda as *parkway* como estrutura linear de conexão entre parques e áreas verdes (Madureira, 2012). Esta medida veio revolucionar a perceção da relação entre a natureza e a cidade, introduzindo a ideia de que o espaço verde deveria ser acessível a todos os cidadãos (Fadigas, 1993).

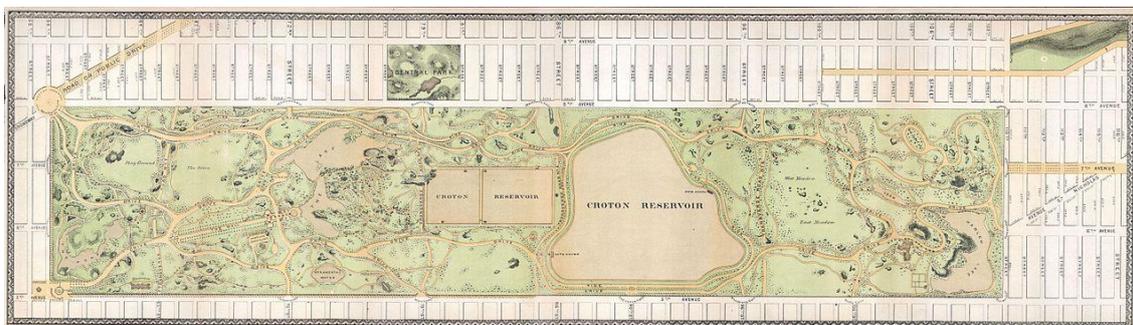


Figura 1 - Parque Central de Nova Iorque projetado por Olmsted
(Fonte: Vaux e Olmstead, 1862)

Sob a influência das ideologias higienistas e naturalistas, surgem na Europa dois modelos urbanísticos paradigmáticos: a Cidade Linear de Arturo Soria (1882) (Figura 2) - organizada por 5 componentes lineares, paralelas a um eixo central - e a Cidade Jardim de Ebenezer Howard (1898) (Figura 3) - constituída por uma estrutura verde composta por vários anéis (*green belt*) de espaços concêntricos caracterizados por servirem diferentes funções. Ambos os modelos promovem a descentralização urbana e a redução dos contrastes entre a cidade e o campo. A solução proposta por ambos consiste na introdução de faixas ajardinadas (num caso paralelas e noutra concêntricas), separando tecidos edificados destinados a diferentes usos, e impedindo o alastramento contínuo da edificação (Magalhães, 1992; TELLES, 1997).

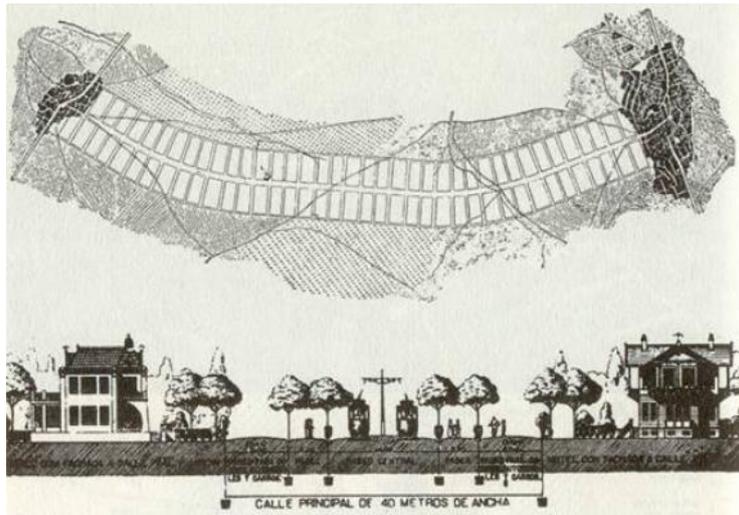


Figura 2 - Cidade Linear de Soria y Mata (fonte: Alves, 2009)

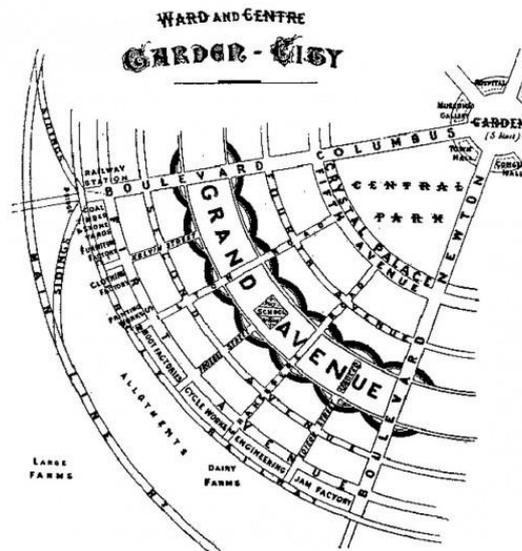


Figura 3 - Esquema de Secção da Cidade Jardim de Ebenezer Howard (fonte: Howard, 2002)

Uma outra perspetiva assenta na relevância da conectividade entre áreas naturais, para a manutenção e promoção da biodiversidade. A importância dada este conceito resultou de estudos realizados no domínio da ecologia da paisagem - ciência que demonstra as inter-relações existentes entre todos os fatores bióticos e abióticos, incluindo o homem. Os conceitos ecológicos

de conectividade e diversidade são baseados em fisiologia vegetal (principalmente a função clorofilina e o ciclo do carbono) e na experimentação relativa às variações microclimáticas provocadas pela vegetação (Magalhães, 1992). Considera-se que uma das principais ameaças à biodiversidade é, para além da redução em número e em área dos habitats naturais, a sua fragmentação por estruturas construídas. Abordagens espaciais do conceito de conectividade, como corredores ecológicos ou estruturas ecológicas, têm servido de base a estratégias de planeamento do uso do solo (Madureira, 2012).

Novas abordagens espaciais, relativas à importância da conectividade, surgiram com objetivos e soluções distintas. Nuns casos, a necessidade de contenção urbana foi o elemento potenciador de intervenção – como os de Londres (*green belt*), de Copenhaga (*green fingers*) e da Randstad (*green heart*). Noutros casos, exploraram-se as potencialidades da penetração de sistemas lineares de espaços abertos nos espaços urbanos - as “*greenway*” de origem americana e com funções primordialmente recreativas, e os corredores ecológicos com forte tradição na Europa e com funções essencialmente ecológicas, constituem as experiências mais marcantes (Madureira, 2012).

Em suma, o que se pretende com os conceitos continuidade/conectividade é que a paisagem envolvente penetre na cidade de modo tentacular e contínuo. Desta forma, são criados nichos ecológicos diversificados que assumem formas e funções cada vez mais urbanas: desde o espaço de lazer e recreio; ao enquadramento de infraestruturas e edifícios; à simples rua ou praça arborizada (Magalhães, 1992). As estratégias relativas à infra-estrutura verde urbana incidem, cada vez mais, no aproveitamento de recursos associados a estruturas lineares da paisagem preexistentes, naturais ou não, como sistemas fluviais ou infraestruturas viárias e ferroviárias (Madureira, 2012).

A continuidade/conectividade está incorporada no conceito de infra-estrutura verde, como elemento da composição urbana, assim como os valores ecológicos e sociais (Madureira, 2012).

2.3. A multifuncionalidade das áreas verdes

Depois da consolidação dos conceitos de continuidade e conectividade, as áreas verdes têm sido crescentemente valorizadas pela sua multifuncionalidade. Segundo Madureira (2012), essa valorização surge por motivos diferenciados: 1) reação aos impactos negativos das políticas espaciais baseadas na segregação espacial seguida do pós-guerra; 2) a apropriação para o contexto urbano das reflexões sobre a multifuncionalidade rural; 3) como resposta à complexificação estrutural e funcional das áreas verdes urbanas derivada da urbanização dispersa ou extensiva; 4) do progressivo conhecimento sobre as variadas funções e benefícios desempenhados pelas áreas verdes em contextos urbanos.

A ideia de que existem variados benefícios associados aos espaços verdes não é recente. Tal como vimos anteriormente, a criação de jardins e parques públicos tiveram de base argumentos higienistas e sociais. Contudo, com o despoletar do interesse da comunidade científica e governativa pela multifuncionalidade das áreas urbanas, são inúmeros os benefícios a eles atribuídos. Estes mesmos benefícios constituem a premissa principal em políticas e programas de desenvolvimento sustentável (Madureira, 2012).

Na literatura, os serviços e os benefícios atribuídos aos espaços verdes são vários e têm sido agrupados de acordo com as funções que desempenham (De Groot *et al.*, 2002; MEA, 2005; De Groot, 2006; De Groot *et al.*, 2010; TEEB, 2010).

2.3.1. Benefícios ambientais

Com a pressão urbana que atualmente recai sobre o território (altamente consumidora de energia para transportes, iluminação, aquecimento e refrigeração; abastecimento familiar; de solo para expansão urbana), o equilíbrio ambiental do ambiente urbano tem vindo a ser bastante perturbado (Fadigas, 1993). Aos espaços verdes urbanos são associados múltiplos benefícios que demonstram a capacidade deles em compensar e contrariar as pressões ambientais que ocorrem nas cidades.

Um dos principais benefícios associado aos espaços verdes consiste na regulação climática. Os ecossistemas desempenham uma função essencial na manutenção química da atmosfera. Esse efeito produzido pelos ecossistemas para além de, a escalas locais, criar condições microclimáticas favoráveis, também reduz os gastos energéticos, por exemplo em arrefecimento (Maes *et al.*, 2015; De Groot *et al.*, 2002; McPhearson *et al.*, 2013). Ao intervir a níveis como a infiltração do ar, convecção de calor e da transmissão de radiação, os espaços verdes desempenham um papel importante na amenização da temperatura urbana (Carvalho, 2009). As copas das árvores filtram raios solares e retêm raios ultravioleta diminuindo a intensidade da radiação até 20% e a irradiação de calor. O sombreamento proporcionado pelas árvores é outra capacidade que não pode ser ignorada na redução da temperatura (Bowler *et al.*, 2010).

É um facto que a temperatura em meios urbanos é habitualmente mais elevada (cerca de 0.5 °C a 1.5 °C) do que a temperatura verificada nas áreas envolventes (Bolund e Hunhammar, 1999); Carvalho, 2009). Desta forma, vários autores afirmam que a melhor estratégia de mitigar o aumento das ilhas de calor é aumentar o coberto vegetal das áreas urbanas (Bolund e Hunhammar, 1999). A influência que a vegetação exerce sobre os parâmetros climáticos deriva também dos seus processos termorreguladores como a evapotranspiração que ocorre quando em simultâneo se processam dois fenómenos; a evaporação da água do solo; e a transpiração do coberto vegetal. Nesse sentido, a vegetação em meio urbano interfere de forma sensível nos microclimas, contribuindo no aumento da humidade relativa do ar, na diminuição da temperatura e, consequentemente, na melhoria do conforto térmico (Silva *et al.*, 2015).

No que diz respeito à regulação da qualidade do ar, os ecossistemas têm um papel influenciador, emitindo ou extraindo substâncias químicas para a atmosfera. Estes afetam a qualidade do ar a várias escalas. Localmente, a vegetação retém poluentes e partículas emitidas pelos veículos motorizados em estradas próximas. Dentro das cidades, a infra-estrutura verde tem um efeito de arrefecimento durante o verão, reduzindo a formação de ozono que afeta a temperatura. À escala regional, os ecossistemas capturam constituintes depositados, tais como enxofre e óxidos de nitrogénio (Maes *et al.*, 2011). Os processos naturais executados pelos ecossistemas regulam o balanço de CO₂/O₂, a camada do ozono (O₃) e os níveis de dióxido de enxofre (SO₂). Os seus principais benefícios consistem na manutenção do ar limpo e respirável, prevenindo doenças.

Ainda a nível ambiental, os espaços verdes têm um contributo decisivo para a biodiversidade e constituem-se como importantes habitats de refúgio para a fauna e flora. A manutenção de habitats saudáveis e a sua estruturação em sistemas contínuos é uma condição primordial para a conservação da natureza em ambiente urbano (de Sá, 2013).

Para além da qualidade do ar, os espaços verdes previnem a erosão dos solos e contribuem para a proteção da sua qualidade. No entanto, é relevante que exista um controlo sobre os fertilizantes e pesticidas, e uma seleção de determinadas espécies de plantas melhoradoras da fertilidade do solo (e.g., espécies fixadores de azoto). Devem ser usadas técnicas de cultivo indicadas para que atuem no processo de compactação do solo e na criação natural de uma camada de matéria orgânica. Desta forma contribuem para uma formação do solo mais fértil - com boa capacidade de retenção

de água - e promovem a dinâmica da comunidade microbiana. Para além disso, os espaços verdes têm particular importância na estabilização de declives em contextos urbanos (Forest Research, 2010).

Destaca-se ainda, a importância dos espaços verdes urbanos no mantimento do ciclo hidrológico, garantindo a permeabilidade do solo (Houghton, 1994). A impermeabilização do solo em áreas urbanas tem, como principal consequência, o agravamento do potencial de cheias aquando a ocorrência de um evento de precipitação intensa (Houghton, 1994).

As infraestruturas verdes favorecem a infiltração da água, possibilitando a recarga de aquíferos e, a evaporação da mesma (processo de evapotranspiração). Bolund e Hunhammar (1999) realçam que nas áreas verdes somente 5% a 15% das águas pluviais não são evaporadas ou infiltradas no solo.

Para finalizar, a infraestrutura verde combate a redução dos níveis de ruído, proporcionando acalmia da poluição sonora característica das cidades de hoje (Anderson, 1984). Neste seguimento, vários autores afirmam que a plantação de *noise buffers* pode reduzir o ruído de 5 a 10 decibéis (redução do ruído em aproximadamente 50% ao ouvido humano) (AgroForestry, 2007).

2.3.2. Benefícios sociais

Ao nível dos benefícios sociais, a presença de espaços verdes nos meios urbanos promove uma melhor qualidade de vida humana, saúde e bem-estar da população urbana. Isto deve-se à redução de poluição atmosférica e, entre outros, facilita a prática exercício físico (Kabisch e Haase, 2013; O'Brien *et al.*, 2010; Owen, 2004). A “Hipótese da Biofilia”, desenvolvida por Edward Wilson, refere que existe uma inata e biológica necessidade de estar em contacto com a natureza. Torna-se genericamente aceite que esta constante interação contribua para o bem-estar psíquico da população humana (Tzoulas *et al.*, 2007).

De forma mais detalhada, os espaços verdes urbanos são locais onde ocorrem diversas atividades lúdicas e recreativas (Carvalho *et al.*, 2008). Estas atividades vão desde as atividades físicas (e.g., caminhar, correr, ciclismo), às atividades de interação com a natureza e interação social (e.g., feiras de artesanato, concertos, campismo, estudo da natureza, projeção de filmes ao ar livre, teatro, entre outras). Diversos autores destacam os benefícios gerados por estes espaços ao nível da saúde física e mental da população, mas também pela importância destes como locais de relacionamento e encontro. Lachowycz e Jones (2013) evidenciam que a possibilidade de praticar exercício físico, ler um livro ou simplesmente interagir com a natureza, gera benefícios como a redução da pressão arterial e a absorção da vitamina D devido à exposição solar. Outro autor considera que estes espaços constituem o quadro físico de uma grande parte das relações sociais ao ar livre, e, por isso, apresentam-se como um complemento terapêutico para uma sociedade submetida a rotinas diárias e muitas vezes confinada a espaços interiores (Chiesura, 2004).

Numa vertente mais cultural e pedagógica, os espaços verdes estimulam o contacto da população urbana com a biodiversidade e os processos naturais produtivos (Swanwick *et al.*, 2003; (Maller *et al.*, 2006; Kabisch e Hasse, 2012; Carvalho, 2009). A observação e contemplação da vegetação possibilita a perceção da evolução das estações (a partir da floração, alterações da coloração e queda de folhas), e de outros ciclos biológicos; o conhecimento da fauna e flora espontânea e cultivada; e ainda a perceção de outros fenómenos físicos em curso (Carvalho, 2009).

Importa salientar a relevância dos espaços verdes na valorização estética e cultural do meio urbano. As diferentes metamorfoses que a vegetação sofre ao longo do ano contrastam com a inércia do ambiente construído, proporcionando à cidade dinamismo e diversidade. Muitas pessoas apreciam os cenários e as paisagens naturais e isso reflete-se na escolha de ambientes esteticamente agradáveis para residir. Nesse sentido, as habitações e terrenos com árvores ou próximos de espaços verdes são valorizados, revelando uma importância patrimonial que se relaciona com o aumento de valor da propriedade (Carvalho, 2009).

2.3.3. Benefícios económicos

Quanto aos benefícios económicos associados à presença de espaços verdes em contexto urbano, estes podem ser classificados em dois tipos de valor distintos: valor de uso e valor de não uso (De Groot *et al.*, 2002). O valor de uso abrange o valor dos bens e serviços que podem ser diretamente consumidos (tal como o valor da madeira, peixe, produtos hortícolas e outros recursos que os ecossistemas fornecem) e está também associado a benefícios não consumíveis (o caso da apreciação estética e da recreação). Os valores de não uso são muitas vezes negligenciados. Principalmente devido à natureza intangível dos seus benefícios (Jim e Chen, 2006), estes estão relacionados com os serviços prestados pela natureza a níveis como a purificação da água e do ar, a prevenção da erosão e a polinização de culturas. Estes serviços prestados pelos meios naturais não possuem mercados explícitos para a sua avaliação, contudo, existe uma variedade de técnicas que podem ser usadas para determinar a disponibilidade e a compensação destes benefícios não mensuráveis monetariamente.

Segundo a descrição avaliativa das funções, serviços e benefícios dos ecossistemas, protagonizada por De Groot *et al.* (2002), os valores económicos que podem ser considerados para avaliar as compensações (ou perdas) derivadas da presença (ou ausência) de infraestruturas verdes são os seguintes:

- Custo evitado: os serviços prestados pela natureza permitem que as cidades e as sociedades evitem custos que poderiam ocorrer na ausência desses serviços. O controlo de inundações (evitando danos de propriedade) e o tratamento de resíduos (evitando custos de saúde) são alguns dos exemplos.
- Custo de substituição: os processos naturais dos ecossistemas podem substituir engenhos fabricados pelo homem. O tratamento natural de resíduos por pântanos é um exemplo que pode ser usado para (parcialmente) substituir sistemas de tratamento artificial dispendiosos.
- Fator de rendimento: muitos serviços de ecossistema aumentam os rendimentos; um exemplo são as melhorias naturais da qualidade da água que aumentam a produtividade de peixe.
- Custos de viagem: o uso de serviços de ecossistemas pode exigir a viagem por parte dos visitantes. Os custos de viagem podem ser vistos como um reflexo do valor implícito pelo usufruto de determinado serviço (e.g., existem visitantes distantes que estão dispostos a pagar um preço justo para viajar até determinadas áreas recreativas).
- Custo hedónico: muitas pessoas apreciam os cenários e as paisagens naturais e isso reflete-se na escolha de ambientes esteticamente agradáveis para residir. Deste modo, a estética revela uma importância económica considerável, visto que, influencia o preço do mercado imobiliário. Casas perto de parques nacionais ou com vista para o mar são

geralmente muito mais caras que casas semelhantes em zonas desfavorecidas (Costanza *et al.*, 1997).

Numa perspetiva mais recente considera-se que o investimento em espaços verdes acabará por trazer altos retornos (Forest Reseach, 2010). Segundo Cousins (2009), a avaliação da relação entre os espaços verdes urbanos e os benefícios económicos gerados à escala local devem ser tomados em conta os seguintes critérios:

- criação de emprego e atração de investimento
- valorização do solo urbano
- relação da saúde e bem-estar físico e mental com a produtividade no trabalho
- revitalização da economia local

Conclui-se que, em contextos urbanos, os benefícios económicos mais estudados associados à presença de espaços verdes consistem no aumento do valor imobiliário das propriedades adjacentes e no valor económico das funções ambientais e sociais desempenhadas pelas áreas verdes urbanas (Bolund e Hunhammar 1999; Jim e Chen 2008).

Apesar de ser difícil conciliar o crescimento económico com o desenvolvimento de infraestruturas verdes, esta perspetiva não pode ser vista com antagonismo, na medida em que os espaços verdes podem por si próprios promover o crescimento económico, contribuindo assim para a boa imagem e competitividade das cidades (Fonseca *et al.*, 2010)

2.4. A oportunidade da multifuncionalidade

Com maior ou menor intensidade e articulação, todos os benefícios referenciados anteriormente constituem-se como responsáveis pela preservação e/ou criação de áreas verdes nas cidades. O grande desafio consiste em perspetivar as áreas verdes para além do seu contributo individual, ou seja, como um sistema estruturado na paisagem urbana, a multifuncionalidade emerge necessariamente como um atributo intrínseco e fundamental. De acordo com Madureira (2012), apesar da tendência contemporânea centrar-se na multifuncionalidade de cada uma das unidades constituintes, o desafio deverá consistir na “capacidade dotar de coerência espacial e funcional a estrutura definida pelo conjunto dessas unidades”.

Esta complexidade de interações, funções, usos e benefícios - desempenhada pelos espaços verdes urbanos - leva a que um dos grandes desafios no planeamento da paisagem urbana contemporânea seja progredir na articulação entre áreas estrutural e funcionalmente diferenciadas, promovendo a continuidade espacial mas também a conetividade funcional. De forma a potenciar, sem comprometer as diversas funções desempenhadas pelas áreas verdes em contextos urbanizados, as soluções devem ser direcionadas para o estabelecimento de melhores relações espaciais e funcionais, conciliando as funções ambientais, sociais e económicas desempenhadas pelos espaços verdes urbanos (Madureira, 2012).

A centralidade da multifuncionalidade, no contexto da infraestrutura verde, em muito se deve ao território diverso e alargado que caracterizam as cidades. Emergem nos dias de hoje abordagens com maior diversidade estrutural e funcional de áreas verdes. O planeamento e gestão devem ser vistos de um modo cada vez mais amplo, integrando as oportunidades multifuncionais.

Exemplificando, a promoção de zonas ribeirinhas em cidades dotadas de cursos de água melhora simultaneamente a beleza da paisagem, a proteção contra o vento, a qualidade da água, a biodiversidade e a produção de culturas. Desta forma, os benefícios para as sociedades são amplificados (Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010).

2.5. Serviços Ecossistémicos

Nesta secção é retratada a noção de conceito de serviços ecossistémicos e sua ligação com o bem-estar humano, explicitando-se os diferentes bens e serviços (e.g., produção, suporte, regulação e cultural) fornecidos pelos ecossistemas urbanos. Na última parte deste capítulo é identificado um conjunto de indicadores que permitem operacionalizar a quantificação dos serviços ecossistémicos.

2.5.1. O conceito de serviços de ecossistema

A origem do conceito de serviços de ecossistema tem uma longa história, remontando pelo menos desde a década de 1970. Contudo, o momento decisivo da sua consolidação foi aquando da publicação “*The value of the worlds ecosystem services and natural capital*” (R. Costanza *et al.*, 1998), protagonizada por um grupo de investigadores, em finais da década de 90. Esta alertava para a opinião pública do valor económico dos serviços ecossistémicos (Madureira, 2016; De Groot *et al.*, 2010). O conceito ganhou maior ênfase na comunidade internacional quando as Nações Unidas publicaram a “Avaliação Ecossistémica do Milénio” (MEA), em 2005. Os seus objetivos eram avaliar as consequências das mudanças nos ecossistemas sobre o bem-estar humano, e ainda estabelecer as bases científicas que fundamentam as ações necessárias para assegurar a conservação e o uso sustentável dos ecossistemas e a sua contribuição para o bem-estar (Fisher *et al.*, 2009; Madureira, 2016; MEA, 2005). Desde então, a investigação relativa aos serviços de ecossistema difundiu-se, e, numerosos documentos associados têm sido publicados. Entre 2007 e 2010, as Nações Unidas desenvolveram um programa de apoio ao MEA, designado “A Economia dos Ecossistemas e Biodiversidade” (TEEB). O relatório TEEB foi amplamente reconhecido pelos meios de comunicação social e o conceito de serviços ecossistémicos propagou-se nas arenas políticas e científicas internacionais, tendo vindo a ser utilizado em variados instrumentos políticos e a diversas escalas (Costanza *et al.*, 2014; Madureira, 2016). Na UE, o conceito foi aplicado, por exemplo, na estratégia para a infraestrutura verde (Comissão Europeia, 2013), na estratégia de biodiversidade para 2020 e na estratégia para a floresta (Comissão Europeia, 2011). Atualmente impera um consenso global no que diz respeito ao valor dos ecossistemas e a sua relação com o bem-estar humano.

Mais de metade da população mundial vive em cidades (Dye, 2008) e é estimado que em 2050 esse valor suba para dois terços (Nações Unidas, 2010). A concentração populacional em paisagens urbanas dominadas por tecnologia e infraestruturas construídas promoveu, progressivamente, a conceção de uma sociedade urbana dissociada e independente dos ecossistemas (Ausubel, 1996). Contudo, a procura por capital natural e serviços de ecossistema tem aumentado constantemente no nosso planeta urbanizado. A dissociação da cidade com os sistemas ecológicos pode ocorrer à escala local e parcial, porém, para além dos limites da cidade subsistem vastas áreas apropriadas na prestação de serviços ecossistémicos. Como qualquer sistema social-ecológico, as cidades dependem dos ecossistemas e dos seus componentes para manter condições a longo prazo de vida, saúde, segurança, bons relacionamentos sociais, bem como de outros aspetos importantes para o bem-estar humano (Gómez-Baggethun *et al.*, 2013).

Ainda há muito para ser investigado no âmbito dos serviços desempenhados pelos ecossistemas urbanos. P. Bolund e S. Hunhammar (1999) sistematizaram pela primeira vez os serviços ecossistémicos urbanos (até aqui remetidos apenas a ecossistemas de grande riqueza biológica), afirmando que as áreas verdes urbanas representam um meio efetivo de compensação dos problemas ambientais gerados pelos processos de urbanização. No seu estudo, foram identificados diferentes ecossistemas locais em Estocolmo (e.g., parques urbanos, arborização viária, áreas arborizadas, áreas cultivadas, rios,...) e os serviços por eles fornecidos (purificação do ar, regulação climática, drenagem de águas pluviais, tratamento de águas residuais e valores recreativos e culturais). Após a publicação de Bolund e Hunhammar (1999) vários esforços foram reunidos ao nível da literatura para melhor compreender os serviços ecossistémicos urbanos nas suas dimensões biofísicas, económicas e socioculturais.

Até ao momento, a atenção dada aos ecossistemas urbanos ainda é relativamente modesta comparativamente a outros ecossistemas, como em zonas húmidas ou florestais. Considera-se na literatura que, os valores monetários dos ecossistemas foram amplamente examinados enquanto a avaliação dos valores simbólicos, culturais, identitários e outros valores não económicos carecem de informação. O valor do seguro decorrente da presença de ecossistemas urbanos e infra-estrutura verde é outro caso que ainda necessita de maior exploração (Chan *et al.*, 2012). Ainda subsiste pouca compreensão na avaliação dos ecossistemas urbanos, caracterizados por serem espaços complexos, heterogéneos e fragmentados (Pickett *et al.*, 2001).

Os serviços ecossistémicos são definidos como “os benefícios que os humanos obtêm dos ecossistemas urbanos” (De Groot *et al.*, 2002; MEA, 2005), ou como “as contribuições diretas e indiretas que os ecossistemas produzem para o bem-estar humano” (TEEB, 2010). Este estudo restringe-se aos serviços ecossistémicos urbanos, sendo eles providenciados pelos ecossistemas urbanos e seus componentes. Os ecossistemas urbanos integram-se em zonas de alta densidade populacional onde a infra-estrutura contruída cobre uma grande proporção da superfície terrestre (Pickett *et al.*, 2001). Neles incluem-se todos os espaços verdes e azuis das áreas urbanas como, parques, cemitérios, quintas e jardins, florestas urbanas, zonas húmidas, rios, lagos e lagoas.

No discurso das políticas públicas, os ecossistemas urbanos são frequentemente retratados como “infra-estrutura verde” (EEA, 2011). Este termo capta o papel que a água e a vegetação desempenham no ambiente construído ou próximo a diferentes escalas espaciais (edifício, rua, bairro, região). Os ecossistemas urbanos devem ser vistos como um conceito amplo, no sentido em que estes podem incluir áreas orientadas para a comunidade. São exemplos disto as florestas e rios/lagoas dentro dos limites da cidade ou na proximidade; e os jardins privados não diretamente submetidos ao planeamento urbano público (Gómez-Baggethun *et al.*, 2013).

É um facto que as ações humanas contribuem para a diminuição da capacidade de muitos ecossistemas devido à crescente procura pelos seus serviços, especialmente água e alimentos. Deste modo, o bem-estar do homem nas cidades e o progresso em direção a um desenvolvimento sustentável depende de forma vital de uma melhoria na gestão e planeamento da infra-estrutura verde urbana, de modo a garantir a conservação de espécies e ecossistemas. Nesse sentido, e de modo a melhorar a qualidade e o contributo dos espaços verdes urbanos para o bem-estar humano, é necessário conhecer os sistemas envolvidos e as interações existentes entre os seus componentes. Neste contexto, o quadro concetual dos serviços de ecossistema destaca-se por fornecer uma estrutura sólida para a análise e ação sobre as relações existentes entre os humanos e o leque de benefícios que podem ser extraídos na natureza (Pereira *et al.*, 2009; Madureira, 2016; de Sá, 2013; (Young, 2010).

De acordo com C. A. Kull *et al.* 2015, a utilização da noção de serviços ecossistêmicos está atualmente centrada em quatro elementos:

- 1) algo no exterior (ecossistema, natureza, florestas, corpos de água, ...);
- 2) providencia “coisas” (recursos, bens, produtos, serviços, ...);
- 3) úteis para as pessoas e/ou para a natureza (saúde, bem-estar, sistemas fundamentais de suporte à vida, ...);
- 4) e isso deve ser valorizado (muitas vezes em termos monetários).

Denota-se uma diferença fundamental entre aqueles que valorizam a importância intrínseca dos serviços ecossistêmicos e aqueles que se centram especificamente no valor económico que lhes pode ser associado (Madureira, 2016).

No contexto do presente trabalho, toda a infraestrutura verde urbana é perspetivada como um conjunto de vários ecossistemas que atuam à escala local e possuem características diferenciadas como se pode observar no caso prático deste testemunho. De forma a clarificar toda a dinâmica providenciada pelos meios naturais e seminaturais é apresentada a seguinte definição em torno do conceito de ecossistema: Os ecossistemas são unidades funcionais onde comunidades de plantas, animais e microrganismos interagem de forma dinâmica com o meio abiótico. Os seres humanos são uma parte integral dos ecossistemas (MA, 2005).

A biodiversidade – variedade de toda a vida na terra – desempenha um papel fundamental na configuração estrutural dos ecossistemas. Esta é essencial para a manutenção dos processos ecossistêmicos básicos e para apoiar as funções dos ecossistemas (Maes *et al.*, 2013). Os ecossistemas variam grandemente em tamanho; uma poça de água na cavidade de uma árvore e uma bacia oceânica podem ser ambas exemplos de ecossistema (Pereira *et al.*, 2009). São sistemas adaptativos complexos compostos por propriedades sistémicas como a estrutura, relação produtividade-diversidade e padrões de fluxo de nutrientes que emergem com a interação entre os componentes. É comum a existência de efeitos de retroalimentação – combinação de efeitos negativos e positivos responsáveis por um equilíbrio dinâmico evolutivo. Eles incluem não apenas as interações entre os organismos, como entre toda complexidade de fatores físicos que formam o ambiente (Andrade e Romeiro 2009).

2.5.2. Funções e serviços de ecossistema

Considera-se que os impactos ambientais diretos e indiretos provocados pelas regiões urbanas afetam a sustentabilidade local e global, sendo que as tendências globais dos processos de urbanização são agravados pelos efeitos das alterações climáticas e outras pressões ambientais. O espaço urbano, segundo Madureira (2016), tornar-se-á cada vez mais uma comodidade escassa onde as pressões sobre os ecossistemas aumentarão fortemente. Assim, uma dinâmica crítica a ser entendida para aumentar a sustentabilidade e a resiliência urbana centra-se na relação socio-ecológica entre os seres humanos e os ecossistemas urbanos em que a maioria das pessoas vivem (McPhearson *et al.*, 2013).

É reconhecida a dificuldade em identificar os bens e serviços fornecidos pelos ecossistemas em geral. No entanto, esta dificuldade acentua-se quando falamos de espaços verdes à escala da cidade. Apesar desta dificuldade, é de extrema importância que haja uma maior compreensão das

funções e serviços de ecossistema prestados pelos espaços verdes urbanos, de modo a integrar este conceito num processo de planeamento e gestão da infra-estrutura verde urbana (Larondelle e Hasse, 2012).

As funções são constituídas por diferentes combinações de processos, características e estruturas. Estas funções representam o potencial que os ecossistemas têm em prestar serviços, independentemente de serem ou não úteis para os seres humanos (Maes *et al.*, 2013).

A estrutura dos ecossistemas é caracterizada pelo conjunto de indivíduos e comunidades de plantas e animais (recursos bióticos) que compõe os ecossistemas - a idade, o tamanho e a distribuição espacial – juntamente com os recursos abióticos (combustíveis fósseis, minerais, terra e energia solar). Estes elementos estruturais dos ecossistemas são a base para a ocorrência dos processos ecológicos. A compreensão da dinâmica dos ecossistemas requer um esforço no mapeamento das chamadas funções ecossistémicas, as quais podem ser definidas como as constantes interações existentes entre os elementos estruturais de um ecossistema. Neles incluem-se: a transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação de gás, regulação climática e o ciclo da água. Estas funções são consideradas um subconjunto dos processos ecológicos e das estruturas dos ecossistemas, formando uma integridade sistémica dentro dos ecossistemas (Andrade e Romeiro, 2009).

Fisher e Turner (2008) distinguem a estrutura como a constituição física dos ecossistemas, as funções como as várias operações desempenhadas pelos ecossistemas e os bens e serviços como o resultado disponibilizado para o bem-estar humano.

Resumindo, as funções dos ecossistemas representam o potencial que os ecossistemas têm para fornecer um serviço que, por sua vez, depende das suas estruturas e dos processos ecológicos. Por exemplo, a produção primária (processo) é necessária para manter uma população de peixe viável (função) que é usada (colhida) para fornecer alimentos (serviço) (TEEB, 2010).

De uma forma simplificada, o enquadramento concetual apresentado por Maes *et al.* (2013) liga os sistemas socioeconómicos aos ecossistemas, através do fluxo de serviços ecossistémicos e dos agentes de mudança, que por sua vez afetam os ecossistemas como consequência do uso dos serviços ou como impactos indiretos devido às atividades humanas em geral (Figura 4).

As funções dos ecossistemas são definidas como a capacidade ou o potencial de fornecer serviços ecossistémicos. Os serviços ecossistémicos são produto das funções dos ecossistemas e representam o fluxo de serviços para os quais existe procura.

O controlo do sistema social-económico-ecológico é uma parte integrante do enquadramento concetual: instituições, *stakeholders* e utilizadores de serviços ecossistémicos afetam os ecossistemas através de agentes de mudança diretos e indiretos.

As políticas relativas à gestão de recursos naturais visam afetar os agentes de mudança, de forma a alcançar um futuro desejável para os ecossistemas. Muitas outras políticas também afetam esses agentes, as quais poderiam ser adicionadas a este enquadramento. Isto porque têm impacto sobre os ecossistemas, embora não o tenham como alvo (e.g., através da construção de edifícios ou infraestruturas; ou políticas industriais através da poluição).

O estado dos ecossistemas é especificamente abordado no enquadramento concetual de Maes *et al.* (2013). Este refere que os ecossistemas saudáveis possuem todo o potencial das funções ecossistémicas. A gestão destes, bem como outros *inputs* de capital, refletem os investimentos de mão-de-obra, capital ou energia necessários para obter certos benefícios (e.g., colher uma plantação ou construir e manter trilhos para recreação).

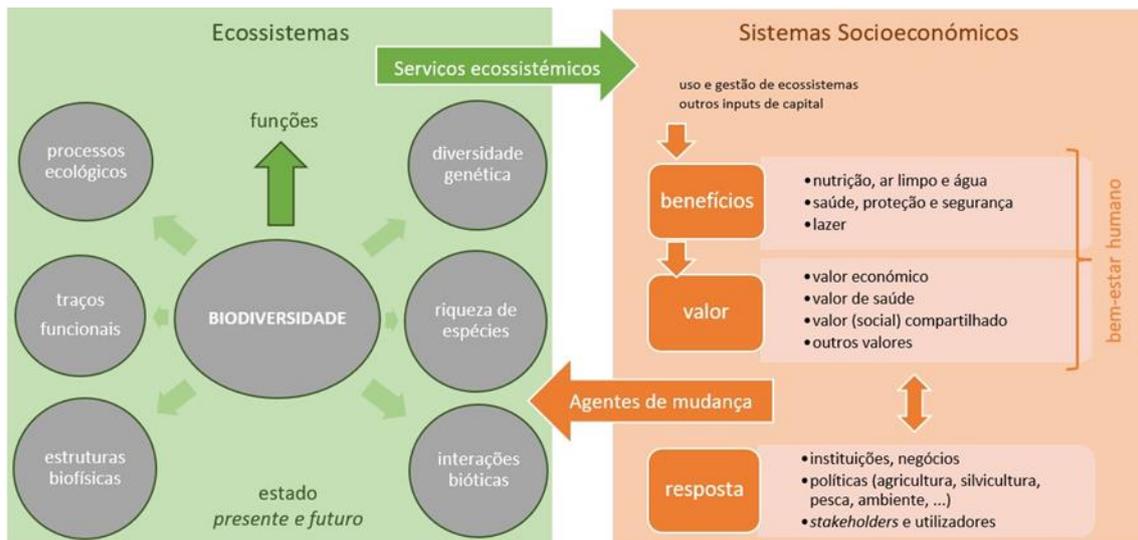


Figura 4 -Quadro conceitual para avaliações ecossistêmicas à escala da EU (Adaptado de: Maes et al., (2013))

A biodiversidade desempenha diferentes papéis no apoio às funções dos ecossistemas e serviços ecossistêmicos. Na Figura 4, a biodiversidade é composta por seis dimensões que a conectam ao funcionamento dos mesmos. Do lado esquerdo podemos encontrar três dimensões da biodiversidade, que contribuem para o funcionamento do ecossistema:

- I. A biodiversidade aumenta a eficiência dos processos ecológicos, como produção primária, decomposição e ciclagem de nutrientes. Estes processos são determinantes chave das funções do ecossistema;
- II. A diversidade funcional - variação no grau de expressão de múltiplas características funcionais - é um segundo determinante importante no funcionamento dos ecossistemas. Os traços funcionais são aqueles que definem as espécies em termos dos seus papéis ecológicos, ou seja, a forma como interagem com o ambiente e com outras espécies. Por exemplo, o tamanho do corpo das espécies de polinizadores e a sua diferente tolerância a uma temperatura mínima resulta em diferentes distâncias de voo até onde a polinização das culturas pode ocorrer;
- III. A biodiversidade, em particular a diversidade de espécies vegetais, tem um papel importante na estruturação de habitats, ecossistemas e paisagens. Esta é imprescindível para muitas outras espécies e, conseqüentemente, para a produção de serviços ecossistêmicos.

Relativamente ao lado direito, nele podemos encontrar as três dimensões que contribuem para o funcionamento dos ecossistemas e que, ao mesmo tempo, também fornecem diretamente serviços ecossistêmicos.

- I. A diversidade genética é a diversidade do *pool* genético de espécies únicas. Tanto as variedades diferentes como os parentes de culturas e animais selvagens são considerados cruciais para manter um *stock* geneticamente diverso. Isto porque essa diversidade torna os sistemas de produção de alimentos mais resilientes contra futuras mudanças ambientais ou doenças, ou seja, a probabilidade de algumas variedades serem adaptadas às condições futuras aumenta com a diversidade;

- II. A riqueza de espécies (ou o número total de espécies) e a diversidade taxonómica (o número total de espécies de certos grupos, por exemplo, o número total de mamíferos) são frequentemente utilizadas como indicadores de biodiversidade. A riqueza de espécies proporciona um benefício direto nomeadamente para as pessoas que gostam de contemplar a Natureza;
- III. A diversidade de interações bióticas específicas numa rede alimentar ou em redes de espécies - como predação e a procura por alimentos selvagens (*foraging*) - fornece, em alguns casos, um serviço regulador. As abelhas, ao alimentarem-se de plantas transportadoras de néctar, contribuem para a polinização das culturas agrícolas. Os insetos predadores ajudam a manter as pragas das culturas agrícolas sob controlo.

2.5.3. Bem-estar humano

De um modo geral, as funções ecossistémicas geram determinados serviços ecossistémicos quando os processos naturais subjacentes desencadeiam uma série de benefícios direta ou indiretamente apropriáveis pelo ser humano, incorporando a noção da utilidade antropocêntrica. Por outras palavras, uma função passa a ser considerada serviço quando apresenta possibilidade/potencial de ser usufruída para fins humanos (Andrade e Romeiro, 2009). Um único serviço de ecossistema pode ser produto de duas ou mais funções, ou uma única função pode gerar mais que um serviço ecossistémico (Constanza *et al.*, 1997; De Groot *et al.*, 2002).

O conceito de funções ecossistémicas é relevante. Isto devido à geração dos chamados serviços ecossistémicos, que representam os benefícios diretos e indiretos obtidos pelo homem a partir dos ecossistemas. Eles podem ser classificados de várias formas, porém, neste estudo optou-se pela designação fornecida pelo programa iniciado em 2001 pelas Nações Unidas, a “Avaliação Ecossistémica do Milénio”. Neste programa, foram distinguidos: os serviços produzidos pelos ecossistemas em serviços de produção (bens produzidos ou a provisionados pelos ecossistemas, como alimentos ou água); os serviços de regulação (benefícios obtidos da regulação dos processos de ecossistema, como regulação do clima ou cheias); os serviços de suporte (serviços necessários para a produção de todos os outros serviços, como a formação do solo ou o ciclo dos nutrientes) e; os serviços culturais (benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas, como os espirituais ou estéticos) (Madureira, 2016). Em última instância, podem ser considerados como fluxos de materiais, energia e informações derivados dos ecossistemas naturais e cultivados que, combinados, produzem o bem-estar humano (Andrade e Romeiro, 2009).

Os serviços ecossistémicos correspondem aos bens que derivam dos ecossistemas. As pessoas beneficiam dos (bens e) serviços. Esses benefícios são, entre outros, nutrição, acesso a água e ar limpo, saúde, segurança e lazer. Eles afetam (aumentam) o bem-estar humano que é o principal alvo da gestão dos sistemas socioeconómicos. O foco nos benefícios implica que os serviços ecossistémicos estejam abertos à avaliação económica. No entanto, nem todos os benefícios para as pessoas conseguem ser medidos em termos monetários. Desta forma, torna-se relevante incluir outros valores: valor de saúde, valor social ou valor de conservação (Maes *et al.*, 2013).

A parte relativa ao bem-estar humano – lado direito da figura 4 - é descompactada em três componentes: benefícios, valores e resposta. Os benefícios são as mudanças positivas no nosso bem-estar a partir da satisfação das nossas necessidades e desejos. O bem-estar depende substancialmente, mas não exclusivamente, dos serviços de ecossistema. Aqui estão incluídas apenas quatro categorias de nível superior: nutrição, saúde, segurança e lazer (que podem ser fornecidas por múltiplos serviços de ecossistema). No entanto, essa lista é meramente indicativa,

podendo exigir mais especificações em determinados contextos e tipologias (e.g., zonas húmidas, florestas e zonas urbanas).

A avaliação monetária dos serviços ecossistémicos depende, geralmente, das análises da procura (beneficiários) e da aplicação de técnicas de avaliação económica, idealmente envolvendo todas as partes interessadas relevantes. No entanto, as avaliações também podem ser expressas em unidades de saúde humana ou termos biofísicos. Existem diferentes métodos para determinar valores sociais compartilhados, a maioria deles discursivos e com envolvimento dos *stakeholders* e/ou do público em geral.

Ao analisar a procura é importante considerar que é dependente da escala, pois alguns serviços podem ser transportados por longas distâncias (e.g., provisão de alimentos), enquanto outros têm a procura local (e.g., proteção do solo).

A caixa de resposta contém as partes interessadas que são afetadas pela provisão de serviços ecossistémicos (tais como os fornecedores ou os beneficiários), pois estes podem ter de mudar o uso da terra ou outras práticas de gestão que afetam os ecossistemas e os seus serviços. As instituições referem-se ao conjunto atual de regras e regulamentos - tanto formais quanto informais - e as políticas dizem respeito a todas as políticas que afetam os ecossistemas, direta ou indiretamente, implícita ou explicitamente. Para além disso, a comunidade empresarial e o setor privado representam parceiros essenciais para atingir as metas de biodiversidade 2020.

O fluxo de serviços ecossistémicos como benefícios para o bem-estar humano não é, de todo, gratuito (normalmente requer investimentos adicionais). O conteúdo energético dos serviços ecossistémicos é, portanto, em quase todos os casos, uma combinação de energias naturais - baseadas em processos ecossistémicos - e energias baseadas em humanos. Estas entradas de capital também são explicitamente tratadas na avaliação socioeconómica.

Mesmo o mais simples dos serviços ecossistémicos de aprovisionamento (como a coleta de alimentos silvestres) exige trabalho de colheita. Todos os serviços culturais, por definição, envolvem ações humanas para absorver/processar as informações envolvidas. O grupo dos serviços reguladores é bastante diverso neste aspeto. Eles são, de forma geral, um fluxo livre (e.g., regulação do clima por sequestro de carbono; captura de poluição atmosférica) sem necessidade de trabalho humano. Mas, em termos económicos, existem custos de oportunidade envolvidos. Exemplificando, não disponibilizando terra florestal para atividades urbanas, esses serviços substituem os investimentos humanos. Um exemplo disso é a proteção contra inundações através da vegetação em vez de infra-estrutura artificial (Maes *et al.*, 2013).

2.6. Classificação de serviços ecossistémicos provenientes das áreas urbanas

Para se poder identificar e quantificar os bens e serviços ecossistémicos é necessário recorrer à utilização de indicadores (R. De Groot, 2006). Em concordância, Maes *et al.* (2011) realça a importância dos indicadores na identificação e mapeamento de serviços ecossistémicos. O mesmo autor apresenta um breve resumo das principais características e etapas dos indicadores (Maes *et al.*, 2011):

- **Comunicação:** os indicadores são selecionados por representarem elementos dos ecossistemas que manifestam a condição e tendências dos sistemas que são considerados relevantes para a sociedade (para um objetivo específico);

- Alerta antecipado: o objetivo é comunicar à sociedade o estado do ambiente e antecipadamente detetar mudanças que afetam o bem-estar humano;
- Avaliação do impacto: os indicadores são selecionados especificamente para demonstrarem as consequências da ação ou inação humana ao medirem a eficiência das medidas que efetuamos;
- Alcance dos objetivos: os indicadores são derivados dos objetivos das políticas, neste caso impedir a degradação dos serviços de ecossistema, de forma a avaliar e monitorizar o desempenho em relação aos níveis dos objetivos definidos.

Em síntese, um indicador define-se de uma forma genérica como uma característica de um sistema que indique algum aspeto desse mesmo sistema (armazenamento, fluxo, estrutura, diversidade, distância ao objetivo) (Maes *et al.*, 2011).

Com base em classificações anteriores de serviços de ecossistema (Daily, 1997; De Groot *et al.*, 2002; MEA, 2003), o TEEB identificou 22 tipos de serviços de ecossistema agrupados em 4 categorias, conforme é apresentado na Tabela 1 (TEEB, 2010).

*Tabela 1 - Tipologia dos serviços ecossistémicos (TEEB), extraído de MAES *et al.* (2011)*

<p>Serviços de produção: produtos e bens obtidos a partir dos ecossistemas</p> <p>Alimentos (pesca, caça, frutos)</p> <p>Água (consumo humano, irrigação)</p> <p>Matérias-primas (fibras, madeira, lenha, forragem, fertilizantes)</p> <p>Recursos genéticos (para a melhoria das culturas e fins medicinais)</p> <p>Recursos medicinais (produtos bioquímicos, modelos e organismos de teste)</p> <p>Recursos ornamentais (artesanato, plantas decorativas, animais de estimação, moda)</p>
<p>Serviços de regulação: benefícios obtidos do controlo dos processos naturais pelos ecossistemas</p> <p>Regulação da qualidade do ar (captura de poluentes e poeiras (finas))</p> <p>Regulação climática (sequestro de carbono, influência da vegetação sobre a precipitação)</p> <p>Moderação de eventos extremos (proteção contra tempestades e prevenção de inundações)</p> <p>Regulação dos fluxos de água (drenagem natural, irrigação e prevenção de seca)</p> <p>Tratamento de resíduos (especialmente purificação da água)</p> <p>Prevenção da erosão</p> <p>Manutenção da fertilidade do solo (incluindo a formação do solo)</p> <p>Polinização</p> <p>Controlo biológico (dispersão de sementes, controlo de pragas e doenças)</p>
<p>Serviços de Habitat: serviços de suporte, fornecendo habitat</p> <p>Habitat de berçário</p> <p>Proteção dos genes</p>
<p>Serviços culturais: os benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas</p> <p>Informação estética</p> <p>Oportunidades para recreação e turismo</p> <p>Inspiração para a cultura, arte e <i>design</i></p> <p>Experiência espiritual</p> <p>Informações para o desenvolvimento cognitivo</p>

Porque diferentes habitats providenciam diferentes tipos de serviços de ecossistema, as classificações necessitam de se adaptar à especificidade dos ecossistemas. Por exemplo, se os agroecossistemas são fundamentais para a produção de alimentos, as zonas húmidas para a ciclagem de nutrientes, as florestas para sequestração de carbono, os ecossistemas urbanos são

especialmente importantes na provisão de serviços com impacto direto na saúde e segurança como a purificação do ar, redução de ruído, arrefecimento urbano e mitigação do escoamento (Bolund e Hunhammar, 1999). Os serviços ecossistémicos mais relevantes numa determinada cidade dependem muito das características ambientais e socioeconómicas. Por exemplo, em cidades localizadas ou próximas de zonas costeiras, as barreiras naturais são fundamentais para amortecer extremos ambientais (e.g., Nova Orleães). A regulação da qualidade do ar pode ser importante em cidades severamente poluídas devido, por exemplo, a uma topografia com inversões de calor (e.g., Santiago do Chile). Da mesma forma, enquanto as áreas verdes urbanas de forma geral desempenham um papel secundário no turismo, os parques emblemáticos da cidade podem ser uma parte importante no portfólio de atrações valorizadas pelos turistas da cidade (e.g., Central Park) (Gómez-Baggethun e Barton, 2013).

A classificação de serviços e funções de ecossistemas em áreas urbanas, com exemplos de indicadores para medição biofísica, é fornecida seguidamente.

2.6.1. Função de produção

Os ecossistemas naturais fornecem muitos recursos: alimentos, oxigénio, água, fontes de energia, matérias-primas e recursos genéticos, medicinais e ornamentais (De Groot *et al.*, 2002). A fotossíntese e a captação de nutrientes por organismos vivos converte a energia, a água e os nutrientes numa vasta variedade de hidratos de carbono. Estes são utilizados por produtores secundários, criando uma vasta variedade de biomassa viva (De Groot *et al.*, 2002). Exemplos de indicadores de serviços ecossistémicos de produção são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Produção de alimentos

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistémicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Conversão de energia através da fotossíntese	Produção de alimentos	Produção de alimentos em lotes urbanos ou áreas periurbanas.	Produção de alimentos (ton ano ⁻¹); Hortas comunitárias (sim/não);	(Altieri <i>et al.</i> 1999) McPhearson <i>et al.</i> (2013)

Em termos ecológicos, a produção de alimentos em espaços verdes urbanos contribui para aumentar o potencial de eficiência do uso do solo e para a conservação dos recursos naturais (de Sá, 2013). Dada a constante utilização e incorporação de matéria orgânica, a agricultura urbana garante elevados valores de riqueza biológica, contribuindo significativamente para o aumento do nível da atividade microbiana no solo e consequentemente, para a manutenção das cadeias tróficas (de Sá, 2013). A agricultura urbana tem lugar em campos periurbanos, telhados, quintais e jardins comunitários de frutas e vegetais (Andersson *et al.*, 2007). Na generalidade, as cidades produzem apenas uma pequena parcela da quantidade total dos alimentos que consomem. Porém, para muitos cidadãos urbanos de hoje, a agricultura urbana fornece uma importante fonte de alimento e rendimento suplementar. As parcelas urbanas destinadas à agricultura também são importantes na segurança alimentar e resiliência, especialmente em períodos de crise (Barthel *et al.*, 2010).

2.6.2. Função reguladora

Os espaços verdes urbanos desempenham um papel fundamental na regulação dos processos ecológicos em meio urbano. A preservação da biosfera como único suporte de vida terrestre depende do equilíbrio delicado entre os vários processos ecológicos. Alguns dos processos

ecológicos mais importantes incluem: **a transformação de energia proveniente da radiação solar em biomassa** (produtividade primária); **armazenagem e transferência de minerais e de energia nas cadeias alimentares** (produtividade secundária); **ciclos biogeoquímicos** (e.g., ciclo do azoto e outros nutrientes da biosfera); **mineralização da matéria orgânica nos solos e sedimentos**; **regulação do sistema físico do clima**. Por sua vez, todos estes processos são regulados pelas constantes interações ente fatores abióticos (e.g., clima) com organismos vivos. Além de garantirem a manutenção da saúde dos ecossistemas, estas funções reguladoras fornecem serviços que têm benefícios diretos e indiretos para os seres humanos (e.g., ar limpo, água, solo e serviços de controlo biológico) (De Groot *et al.*, 2002). Exemplos de indicadores de serviços ecossistémicos de regulação são apresentados nas Tabelas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Tabela 3 - Regulação do fluxo de água e mitigação de escoamento

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistémicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Percolação e regulação do escoamento	Regulação do fluxo de água e mitigação do escoamento	O solo e a vegetação retêm a água durante episódios de precipitação intensa e/ou prolongada	Capacidade de infiltração do solo; % Do solo impermeável em relação à superfície permeável	(Villarreal e Bengtsson. 2005)

O serviço regulador do ciclo hídrico refere-se à influência que os ecossistemas exercem sobre a magnitude e o tempo de escoamento da água, nas cheias e recarga dos aquíferos, particularmente em termos de potencial de armazenamento de água de um ecossistema (Maes *et al.*, 2011). Os ecossistemas desempenham um papel fundamental no abastecimento de água fresca para fins humanos e garantem o armazenamento e a libertação controlada de fluxos de água. A cobertura vegetativa e as florestas na bacia hidrográfica da cidade influenciam a quantidade de água disponível (Higgins *et al.*, 1997). O aumento da área de superfície impermeável nas cidades reduz a capacidade da água percolar nos solos, aumentando o volume de escoamento de água superficial e, conseqüentemente, o risco de inundações será mais elevado (Villarreal e Bengtsson, 2005). No sentido inverso, a interceção da chuva pelas copas das árvores retarda os efeitos de inundação e o pavimento verde reduz a pressão dos sistemas de drenagem urbana através da retenção de água (Bolund and Hunhammar, 1999).

Tabela 4 - Regulação da temperatura urbana

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistémicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Fotossíntese, sombreamento e evapotranspiração	Regulação da temperatura urbana	As árvores e outros tipos de vegetação urbana fornecem sombra, criam humidade e bloqueiam o vento	Índice de área foliar; Diminuição da temperatura por cobertura de árvore x m ² da mancha de cobertura arbórea (°C)	Bolund e Hunhammar (1999)

Considera-se que o serviço redução de ilha de calor urbano, disponibilizado pelos espaços verdes, é atualmente um dos mais benéficos e essenciais à vida humana nas cidades (de Sá, 2013). O efeito de ilha de calor urbano consiste na diferença da temperatura entre as áreas urbanas e as áreas envolventes. O aumento local da temperatura em áreas urbanas são o resultado cumulativo da fraca absorção de calor pela cobertura do solo (e.g., superfícies em cimento e asfalto) e pela composição atmosférica (e.g., emissão de gases com efeito de estufa), devido ao desenvolvimento urbano e às atividades antrópicas (e.g., tráfego motorizado) (Moreno-Garcia e Carmen, 1994). Os

elementos de água (e.g., cursos de água, lagos) absorvem o calor no Verão e libertam-no no Inverno (Chaparro e Terradas, 2009), enquanto a vegetação absorve o calor do ar através do processo de evapotranspiração, sobretudo quando se verificam baixos níveis de humidade (Hardin e Jensen, 2007). Deste modo, a presença de vegetação em áreas urbanas tem um efeito regulador da temperatura local, quer através da produção de humidade, como também pela sombra fornecida pelas copas das árvores (Bolund e Hunhammar, 1999). Para além disso, as árvores e os arbustos podem ser utilizados para controlar os movimentos do ar, influenciando o impacto do vento, através da obstrução, encaminhamiento de direção, desvio e filtragem (de Sá, 2013).

Tabela 5 - Redução do ruído

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistémicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Absorção de ondas sonoras pela vegetação e água	Redução do ruído	Absorção de ondas sonoras por barreiras de vegetação, especialmente vegetação espessa	Área foliar (m ²) e distancia das estradas (m); Redução de ruído dB (A) / unidade de vegetação	Aylor, (1972); Ishii, (1994); Kragh, (1981);

O tráfego, a construção e outras atividades humanas fazem do ruído um grave problema de poluição nas cidades, afetando a saúde humana com danos fisiológicos e psicológicos. O solo urbano composto por plantas e árvores atenua a poluição sonora através da absorção, desvio, reflexão e refração das ondas sonoras (Fang e Ling, 2003). Nas faixas de árvores, por exemplo, as ondas sonoras são refletidas e refratadas dispersando a energia sonora pelos ramos e pelas próprias árvores (Chaparro e Terradas, 2009). O efeito de barreira (*barrier effect*) proveniente do coberto arbóreo depende de um conjunto de parâmetros quantitativos e qualitativos. Como parâmetros quantitativos temos elementos correspondentes à altura, densidade, largura e comprimento dos corredores verdes na redução de ruído. Já os parâmetros qualitativos referem-se ao objetivo comum de um espaço verde ser projetado de forma adequada de modo a contribuir significativamente para a redução do ruído (Herrington, 1976).

Tabela 6 - Purificação do ar

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistémicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Filtragem e fixação de gases e partículas	Purificação do ar	Remoção e fixação de poluentes através da vegetação urbana	Remoção O ₃ , SO ₂ , NO ₂ , CO e PM ₁₀ (g/m ² ano) multiplicado pela cobertura vegetativa	Chaparro e Terradas (2009)

A poluição atmosférica - proveniente dos transportes motorizados, indústria, aquecimento doméstico e incineração de resíduos - é responsável pelo aumento das doenças respiratórias e problemas cardiovasculares dos habitantes citadinos (Sunyer *et al.*, 2002). A vegetação nas áreas urbanas melhora a qualidade do ar, removendo poluentes da atmosfera, incluindo ozono (O₃), dióxido de enxofre (SO₂), dióxido de nitrogénio (NO₂), monóxido de carbono (CO) e partículas até 10 µm (PM₁₀) (Nowak *et al.*, 2002). Essa remoção resulta através da filtração das partículas pelas folhas das árvores e arbustos (Nowak *et al.*, 1994). As taxas de remoção seguem uma variação diária e sazonal; durante a noite, os estomas estão fechados e não absorvem poluentes; as árvores caducifólias perdem as folhas durante o outono e inverno.

Tabela 7 - Moderação de eventos extremos

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistêmicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Barreira física e absorção de energia cinética	Moderação de extremos ambientais	Amortecimento do impacto de tempestades e inundações por barreiras vegetativas; Absorção do calor durante ondas de calor intensas	Densidade de cobertura das barreiras de vegetação que separam áreas construídas do mar	Danielsen <i>et al.</i> (2005); Constanza <i>et al.</i> (2006)

Esta função relaciona-se com a capacidade dos ecossistemas em reduzir os danos causados por catástrofes naturais (De Groot *et al.*, 2002; Maes *et al.*, 2011). Os ecossistemas, como por exemplo o mangal, atuam como barreira natural protegendo as cidades contra eventos climáticos extremos e riscos, incluindo tempestades, ondas, inundações, furacões e *tsunamis*. Para além disso, a vegetação estabiliza os solos reduzindo a probabilidade de deslizamentos de terra (Constanza *et al.*, 2006). Do mesmo modo, e como discutido anteriormente, os efeitos de arrefecimento produzidos pela vegetação urbana amenizam o impacto das ondas de calor nas cidades (Hardin e Jensen, 2007). Os serviços prestados por esta função proporcionam segurança aos seres-humanos e às suas construções (De Groot *et al.*, 2002).

Tabela 8 - Tratamento de resíduos

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistêmicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Remoção ou degradação de nutrientes xénicos	Tratamento de resíduos	Filtragem de efluentes e fixação de nutrientes em zonas húmidas urbanas	P, K, Mg e Ca em mgkg^{-1} em comparação com os padrões de qualidade do solo/água	Vauramo e Setälä (2011)

Os ecossistemas urbanos desempenham um contributo fundamental na filtragem, retenção e decomposição de poluentes e resíduos orgânicos provenientes de efluentes urbanos. Os processos do solo e subsolo diluem e assimilam os compostos orgânicos (TEEB, 2010). As lagoas, por exemplo, filtram resíduos das atividades humanas reduzindo os níveis de poluição nas águas urbanas residuais (Karathanasis *et al.*, 2003) e os cursos de água das cidades retêm e fixam nutrientes de resíduos orgânicos. Este serviço tem um efeito direto na redução dos custos de tratamento de água pluviais e nos problemas de qualidade da água, sendo que entre as principais causas da poluição das águas superficiais e subterrâneas estão no escoamento de fertilizantes provenientes da agricultura e dos resíduos domésticos ou industriais (de Sá, 2013). As comunidades de plantas em solos urbanos podem desempenhar um papel importante na decomposição de lixo lábil e recalcitrante (Vauramo e Setälä, 2011).

Tabela 9 - Regulação climática

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistêmicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Fixação e sequestração de carbono na fotossíntese	Regulação climática	Sequestro e armazenamento de carbono na biomassa de arbustos e árvores urbanas	Sequestração de CO_2 pelas árvores (carbono multiplicado por 3,67 para converter em CO_2)	Nowak e Crane (2002); McPherson, (1998)

Um dos principais serviços prestados pelos espaços verdes urbanos consiste na regulação do clima local, assim como na regulação do aumento da concentração e/ou contaminação de alguns gases na atmosfera nocivos para os humanos ou com efeito de estufa (de Sá, 2013). As principais emissões de gases de efeito de estufa nas cidades incluem: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nítrico (NO₂), clorofluorcarbonos e ozono troposférico (O₃).

As árvores urbanas atuam como sequestradores de CO₂ ao armazenar o excesso de carbono em biomassa durante a fotossíntese (Nowak, 1994; McPherson e Simpson, 1999). Durante o processo de crescimento, as árvores removem CO₂ da atmosfera. A cada ano, as árvores em crescimento vão sequestrando carbono e, com o passar dos anos, as árvores podem armazenar grandes quantidades de carbono que é retido no seu tecido. Quando as árvores morrem, a maior parte do carbono armazenado é libertado para a atmosfera através da decomposição (Nowak *et al.*, 2002). A quantidade de CO₂ armazenada é proporcional à biomassa das árvores (Chaparro e Terradas, 2009). Os serviços reguladores climáticos fornecidos pelos ecossistemas são responsáveis por um clima favorável, tanto a nível local como global, condicionando toda a vida na terra. Isto devido ao facto destes serviços estarem inteiramente ligados à produtividade agrícola, ao conforto bioclimático e ao bem-estar e saúde humana (De Groot *et al.*, 2002).

Tabela 10 - Polinização e dispersão de sementes

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistémicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Movimentação de gâmetas florais por biota	Polinização e dispersão de sementes	Os ecossistemas urbanos providenciam habitat para pássaros, insetos e outros polinizadores	Diversidade de espécies e abundância de aves e abelhas	Andersson <i>et al.</i> (2007)

A polinização é essencial para a reprodução da maioria das plantas, incluindo culturas comerciais. Desta forma, apresenta-se como um serviço ecológico fundamental, o qual é necessário não apenas para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas urbanos, como também para permitir a produção de biomassa (Bolund e Hunhammar, 1999). Posto isto, a polinização destaca-se por ser um processo reprodutivo vital na manutenção e preservação da vegetação. Esta função ecossistémica é providenciada por diversas espécies polinizadoras (insetos, pássaros e morcegos). Sem esta função, muitas espécies vegetais seriam extintas e o cultivo seria impossível (Daily, 1997). Os ecossistemas urbanos são compostos por habitats heterogêneos onde a biodiversidade dentro de grupos taxonómicos específicos pode ser surpreendentemente alta (Muller *et al.*, 2010). Por exemplo, os sistemas urbanos acolhem populações importantes de pássaros (Melles *et al.*, 2003) e abelhas (Tommasi *et al.*, 2004) que contribuem para a manutenção dos processos de polinização e dispersão de sementes. No entanto, os polinizadores podem ser afetados pela fragmentação dos espaços verdes de diferentes formas: falta de recursos em cada espaço verde; espaços verdes com pequenas dimensões; falta de habitats adequados à escala da paisagem (Pellissier *et al.*, 2012). Algumas pesquisas demonstram que determinadas práticas de gestão da biodiversidade em jardins, cemitérios e parques da cidade, promovem grupos funcionais de insetos e pássaros, melhorando, ao mesmo tempo, a polinização e a dispersão de sementes (Andersson *et al.*, 2007).

2.6.3. Função de suporte

Os ecossistemas naturais fornecem habitat para a manutenção e preservação da diversidade de espécies vegetais e animais (De Groot *et al.*, 2002). A função de suporte dos ecossistemas é uma pré-condição para a prestação de todos os bens e serviços ecológicos e até mesmo, sociais e económicos. Nesta categoria incluem-se o **ciclo dos nutrientes** e a **formação do solo** que são constituintes necessários na produção de todos os outros serviços. Exemplos de indicadores de serviços ecossistémicos de regulação são apresentados nas Tabelas 11, 12 e 13.

Tabela 11 - Disponibilidade de Habitat

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistémicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Área de superfície do espaço verde urbano	Disponibilidade de habitat	Os espaços verdes fornecem espaço para a realização de atividades ao mesmo tempo que contribuem para a manutenção da biodiversidade.	Área do espaço verde (m ² /ha)	McPhearson <i>et al.</i> (2013)

A área dos espaços verdes tem uma grande influência na disponibilidade de bens e serviços, uma vez que quanto maior é a área do espaço verde, maior é a capacidade de albergar diversas atividades e maior o contributo para a manutenção da biodiversidade e heterogeneidade de habitats (de Sá, 2013).

Tabela 12 - Diversidade genética e biológica

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistémicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Habitat para espécies	Manutenção da diversidade genética e biológica	A biodiversidade desempenha um papel fundamental na manutenção da estabilidade dos ecossistemas.	Índice de Shannon ou da diversidade geral	Dobbs <i>et al.</i> (2011)

Os serviços de ecossistema e a biodiversidade estão estritamente relacionados. De acordo com (Barnosky *et al.*, (2011), se a perda da biodiversidade não abrandar o seu ritmo, é possível que um evento de extinção em massa possa acontecer se as tendências continuarem. O declínio da biodiversidade representa não só uma perda irreversível para o planeta, como também ameaça o sistema de apoio à vida da humanidade: os serviços que a natureza fornece representam tudo, desde os alimentos ao ar que respiramos (Science for Environment Policy, 2015).

“A biodiversidade integra toda a variabilidade existente entre os organismos vivos, incluindo *inter alia* os ecossistemas terrestres, marinhos e outros ecossistemas aquáticos, e os complexos ecológicos do qual fazem parte; Isso inclui a diversidade dentro das espécies (a nível genético), entre espécies e ecossistemas. A diversidade é característica estrutural dos ecossistemas e a variabilidade dentro destes é um elemento da biodiversidade” (Pereira *et al.*, 2009). Mais precisamente, a biodiversidade (ou diversidade biológica) refere-se à variabilidade e diversidade dentro de espécies, entre espécies e entre os processos ecológicos que os conectam (de Sá, 2013).

Os espaços verdes urbanos fornecem habitat essencial para a preservação da biodiversidade em meio urbano. Por sua vez, a biodiversidade afeta o funcionamento dos ecossistemas (tais como alimentos e recursos genéticos) sendo que as alterações provocadas na mesma podem influenciar todos os outros serviços que os ecossistemas prestam (Pereira *et al.*, 2009).

Tabela 13 - Conetividade ecológica

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistêmicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Continuidade das estruturas verdes	Manutenção e promoção da biodiversidade	A ligação entre os diversos espaços verdes através de corredores de vegetação permite a articulação das comunidades ecológicas.	Índice de forma; Proximidade a outras áreas verdes	McPhearson <i>et al.</i> (2013)

A distância entre as áreas verdes é considerada importante, uma vez que a dispersão de espécies é desafiadora para muitas espécies que vivem em espaços verdes urbanos descontínuos (McPhearson *et al.*, 2013). A fragmentação dos habitats é considerada uma das principais ameaças à biodiversidade. Desta forma, o planejamento de infraestruturas verdes deve assegurar a conexão estrutural e funcional entre as áreas verdes a diferentes escalas e sob diferentes perspectivas (Madureira, 2016).

2.6.4. Função cultural

Os serviços ecossistêmicos culturais são definidos como os benefícios não materiais obtidos dos ecossistemas (Maes *et al.*, 2011). Os ecossistemas proporcionam oportunidades ilimitadas de **enriquecimento espiritual, lazer, desenvolvimento físico e mental**. Porque o maior período da evolução humana ocorreu num habitat não-domesticado, o desenvolvimento da capacidade humana para a coleta de informações e o sentido de bem-estar estão fortemente ligados à relação do homem com o meio.

A natureza, para além de proporcionar oportunidades de investigação, também se apresenta como uma fonte vital de inspiração para a ciência, cultura, arte e educação (De Groot *et al.*, 2002). Citando Forster (1993), “os ambientes naturais são altamente educativos e inspiradores pois, eles facultam oportunidades de **recreação, experimentação, reflexão, enriquecimento espiritual e desenvolvimento cognitivo** através da exposição aos processos e sistemas naturais de vida”.

Para a interpretação dos serviços disponibilizados pelos espaços verdes urbanos ao nível cultural, valorizam-se aspetos relacionados com: a **percepção e fruição** dos espaços verdes urbanos, nomeadamente os equipamentos e atividades aí desenvolvidos; a **contribuição para a saúde física e mental** da população urbana; a sua importância para a **promoção da interação social**; a oportunidade da população urbana poder experienciar e compreender a natureza e, ainda; o contributo como **elementos estruturais e organizacionais** da malha urbana (de Sá, 2013). Exemplos de indicadores de serviços ecossistêmicos de regulação são apresentados nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Recreação de desenvolvimento cognitivo

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistêmicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Ecosistemas com valores recreativos e educacionais	Recreação e desenvolvimento cognitivo	Os parques urbanos fornecem múltiplas oportunidades para recreação, meditação e pedagogia	Superfície de espaços verdes públicos (ha) / habitantes (ou cada 1000 habitantes); Área de residência dos utilizadores	Chiesura (2004)

Os espaços verdes urbanos proporcionam múltiplas oportunidades para a prática de exercício físico, melhoria da saúde mental e desenvolvimento cognitivo.

No que diz respeito ao desenvolvimento cognitivo, os espaços verdes urbanos apresentam um grande potencial para o desenvolvimento de atividades educativas de modo autónomo ou assistido, uma vez que estes espaços permitem o contacto primário com a biodiversidade e o ambiente natural. Desta forma, os espaços verdes urbanos podem constituir-se como laboratórios vivos ao funcionarem como um importante meio de transmissão de informação de fenómenos ecológicos complexos. São exemplos a sequência dos ritmos das estações e dos ciclos biológicos; o conhecimento da fauna e da flora; e outros fenómenos físicos e biológicos característicos destes espaços (de Sá, 2013).

De forma a contrariar o cenário atual caracterizado por uma sociedade cada vez mais sedentária, Bowler *et al.* (2010) afirma que o usufruto de espaços verdes tem benefícios para a saúde física e psicológica da população ao contribuir diretamente para o relaxamento e alívio do *stress* (Chiesura, 2004) ao gerarem sensações de bem-estar e tranquilidade. Os benefícios para a saúde física são geralmente atribuídos às atividades físicas desenvolvidas dentro do espaço verde enquanto os benefícios psicológicos estão associados ao contacto com a natureza e às interações sociais. No entanto, Lachowycz e Jones (2012) reconhecem que existe uma interação entre os benefícios físicos e psicológicos dando o seguinte exemplo: uma visita ao espaço verde para interagir com a natureza ou para ler um livro pode ter benefícios tanto para a saúde física bem como para a saúde mental (a redução da pressão arterial e a absorção de vitamina D através da exposição à luz solar).

Para além disso, os espaços verdes urbanos surgem como elementos estéticos, onde os habitantes da cidade desenvolvem vínculos afetivos a locais ecológicos das suas cidades. Com isto, os ecossistemas urbanos reforçam a identidade e o sentido de lugar (Gómez-Baggethun e Barton, 2013).

Tabela 15- Observação de espécies

<i>Funções e componentes</i>	<i>Serviços ecossistêmicos</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Provisão de habitat para espécies animais	Observação de espécies	Os espaços verdes urbanos provisionam habitat para pássaros e outros animais que as pessoas gostam de observar	Abundância de pássaros, borboletas e outros animais valorizados pelos seus atributos estéticos	Blair (1996) Blair e Launer (1997)

As pessoas geralmente escolhem determinadas áreas para passar o tempo-livre, com base nas características das paisagens naturais (Chiesura, 2004). Alguns ecossistemas urbanos incluem um

grande número de aves, borboletas, anfíbios e outras espécies que a maioria dos habitantes apreciam pelas suas ruas, parques e jardins. A diversidade pode atingir as urbanizações intermédias, onde muitas espécies autóctones e alóctones prosperam, mas geralmente declinam à medida que a urbanização se intensifica (Gómez-Baggethun e Barton, 2013).

2.7. Classificação de desserviços

Os ecossistemas urbanos não produzem apenas serviços, mas também desserviços. Os desserviços dos ecossistemas definem-se pelas funções dos ecossistemas que são compreendidas como indesejáveis e com consequências negativas para o bem-estar humano (Lyytimäki e Sipilä, 2009). Por exemplo, algumas espécies arbóreas comuns emitem compostos orgânicos voláteis (COVs) - tais como isopreno, monoterpenos, etano, propeno, butano, acetaldeído, formaldeído, ácido acético e ácido fórmico - todos os quais podem indiretamente contribuir para problemas de *smog* e concentrações de ozono urbano através de emissões de CO e O₃ (Chaparro e Terradas, 2009).

Outro desserviço importante associado à biodiversidade urbana é o dano causado em infraestruturas construídas. São exemplos: a atividade microbiana na decomposição de construções de madeira; a corrosão de edifícios de pedra e estátuas por excrementos de aves; a destruição de pavimentos por sistemas radiculares; ou os animais escavando buracos de nidificação (Lyytimäki e Sipilä, 2009). Para além destes desserviços já referidos, estão incluídos os problemas de saúde causados pelo transporte de pólen de plantas através do vento, podendo originar reações alérgicas (D'amato, 2000). Ainda, a ausência de iluminação em áreas verdes no período noturno pode transmitir medo e insegurança (Jorgensen e Anthopoulou, 2007). A visibilidade bloqueada pelas árvores e doenças transmitidas pelos animais (aves migratórias portadores de gripe das aves, cães com raiva) constituem outro problema derivado dos ecossistemas urbanos. Do mesmo modo que algumas plantas e animais são considerados pelas pessoas como prestadores de serviços, animais como ratos, vespas e mosquitos e plantas como urtigas, são considerados por muitos como um desserviço (Gómez-Baggethun e Barton, 2013). Um sumário de desserviços de ecossistema em áreas urbanas é apresentado seguidamente, na Tabela 16.

Tabela 16 - Exemplos de desserviços dos ecossistemas nas áreas urbanas

<i>Funções e componentes</i>	<i>Desserviços</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Exemplos de indicadores</i>	<i>Referências</i>
Fotossíntese	Problemas na qualidade do ar	Determinadas espécies de árvores e arbustos emitem compostos orgânicos voláteis (COVs)	Emissão de Covs (ton ano ⁻¹ / unidade de vegetação)	Chaparro e Terradas (2009); Geron <i>et al.</i> (1994)
Crescimento das árvores através da fixação de biomassa	Visibilidade bloqueada	Bloqueio de ângulos de visão por árvores próximas a edifícios	Árvores altas perto de edifícios	Lyytimäki <i>et al.</i> (2008)
Movimentação de gâmetas florais	Alergias	Transferência de pólen através do vento causando reações alérgicas	Alergenicidade (ex. ranking OPALS)	D' Amato (2000)
Envelhecimento da vegetação	Acidentes	Queda de ramos e árvores em estradas	Número de árvores envelhecidas	Lyytimäki <i>et al.</i> (2008)
Desenvolvimento denso da vegetação	Medo e <i>stress</i>	Escuridão em áreas verdes no período noturno transmissor de medo e insegurança	Área de parques não iluminados	Bixler e Floyd (1997)
Fixação de biomassa nas raízes	Danos em infraestruturas construídas	Rompimento de pavimentos pelas raízes; atividade microbiana	Pavimento afetado (m ²) Madeira (m ³)	Lyytimäki e Sipilä (2009)
Provisão de habitat para espécies animais	Competição de habitats com os humanos	Animais/insetos percebidos como desagradáveis, assustadores, desprezíveis	Abundância de insetos, ratos, etc.	Bixler e Floyd (1997)

3. Abordagem metodológica

Após a concretização da fundamentação teórica fulcral para enquadrar e contextualizar a temática em estudo, torna-se pertinente abordar a fase metodológica, fase do planeamento e do método. É neste capítulo que está descrita a estratégia de pesquisa bibliográfica efetuada durante toda a revisão de literatura, assim como a metodologia de investigação em que se baseia todo o estudo.

3.1. Estratégia de pesquisa bibliográfica

Para a realização da revisão de literatura e para compreender o que já existe acerca da temática em estudo, efetuou-se uma pesquisa documental em portais de conteúdos científicos. Os portais mais utilizados foram essencialmente três, sendo eles o *Scopus*, o *Science Direct* e o *Google Scholar*. A fidedignidade destes portais foram o motivo da escolha dos mesmos.

As pesquisas foram realizadas em dois idiomas: Português e Inglês. Desta forma, foi permitido um estudo mais amplo, uma vez que existem variações a níveis local, regional e global.

Assim sendo, os termos mais utilizados em pesquisa foram “serviços ecossistémicos”, “serviços ecossistémicos urbanos”, “espaços verdes urbanos”, “mapeamento através de indicadores de serviços de ecossistémicos”, entre outros. Como referido anteriormente, a pesquisa foi realizada em dois idiomas, de maneira que estes termos também foram procurados na sua tradução inglesa. Estes termos são considerados as palavras-chave da presente dissertação.

Para além desta pesquisa, também os documentos fornecidos pelo orientador Professor Doutor Daniel Souto Rodrigues e coorientador Professor Doutor António Avelino Vieira revelaram-se bastante úteis devido à sua fiabilidade e qualidade.

3.2. Metodologia de Investigação

Para que os objetivos propostos sejam atingidos, a investigação em curso dividiu-se nas seguintes etapas identificadas na Figura 5:

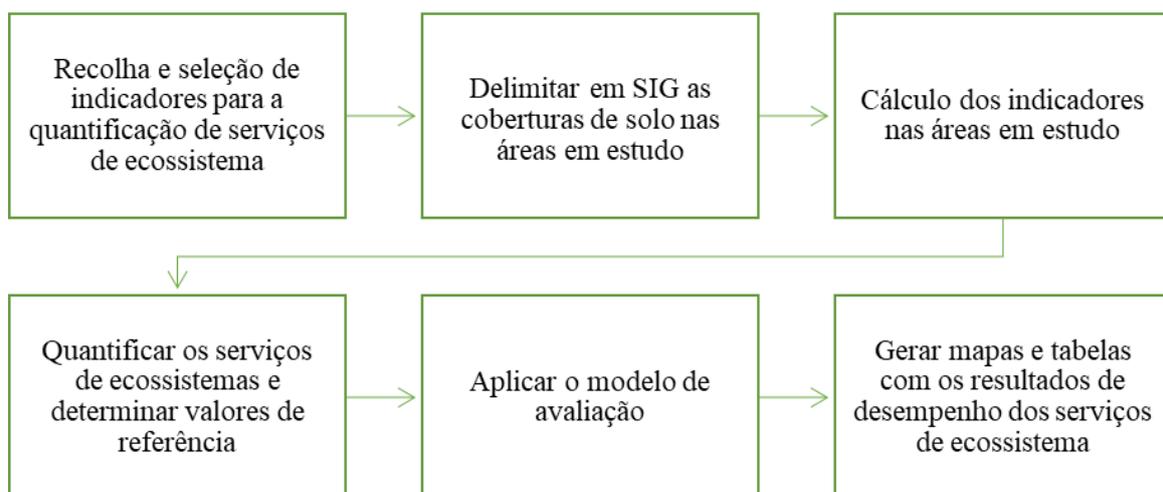


Figura 5 - Etapas metodológicas seguidas no estudo

I. Identificação de serviços ecossistémicos provenientes de espaços verdes urbanos

A abordagem proposta para os serviços provenientes dos ecossistemas urbanos pretende que os mesmos sejam alcançados de acordo com as funções de produção, regulação, suporte e culturais. Desta forma, a pesquisa bibliográfica é fundamental para compreender a relação da cidade com a natureza e de que forma os serviços ecossistémicos podem contribuir para o bem-estar habitacional da cidade.

II. Recolha e seleção de indicadores para a quantificação de serviços de ecossistema

Após identificados os principais serviços provenientes dos ecossistemas urbanos, a segunda etapa consistiu na recolha de indicadores que permitam quantificar os serviços de ecossistema. De seguida, procedeu-se à seleção de indicadores adequados, de acordo com as especificidades dos espaços verdes em estudo.

Consideraram-se os seguintes indicadores representados na Tabela 17 para a quantificação de serviços ecossistémicos urbanos:

Tabela 17 - Indicadores selecionados para a quantificação de serviços ecossistémicos

Serviços ecossistémicos		Indicadores
Serviços reguladores	Regulação climática	Sequestro de carbono
	Purificação do ar	Remoção de poluentes atmosféricos
	Regulação da erosão e do fluxo de água	% da área permeável em relação à superfície impermeável
Serviços culturais	Área de serviço	Densidade populacional; Área por habitante
Serviços de suporte	Diversidade genética e biológica	Índice de diversidade de Shannon
	Conectividade ecológica	Índice de complexidade
	Disponibilidade de habitat	Área total do espaço verde
Serviços de produção	Produção de alimentos	Identificação de área ocupada por hortas comunitárias
	Produção de frutos	Identificação de área ocupada por árvores de fruto
	Densidade de animais	Identificação da quantidade de animais de gado presentes

III. Caracterização das áreas em estudo

- a. Definição de limites físicos das áreas em estudo
- b. Composição do solo

De modo a operacionalizar a aplicação dos indicadores selecionados para a quantificação dos serviços ecossistémicos nos espaços verdes em estudo, torna-se essencial recorrer a ferramentas de informação geográfica, neste caso, ao *software* ArcGIS.

Após definir a ferramenta de trabalho, o uso de cartografia do território em estudo é essencial. Aqui, podem ser utilizados ortofotomapas ou imagens de satélite.

Estes dois elementos referidos nos dois últimos parágrafos, - o *software* ArcGIS e a respetiva cartografia – são a base para a caracterização das áreas em estudo.

Usando as ferramentas do ArcGIS é possível delimitar os limites físicos das áreas em estudo, de forma a obtermos a área total do espaço verde a investigar e estimar a composição do solo nos parâmetros seguintes: cobertura arbórea, cobertura herbácea, agricultura urbana, caminhos pedonais, equipamentos, infraestruturas de apoio, rios ou lagos.

IV. Determinação dos valores de referência para aplicação do modelo de avaliação.

O modelo de avaliação adotado permite avaliar o desempenho dos serviços de ecossistema nos espaços verdes em estudo. Para isso, é fundamental quantificar os indicadores selecionados e obter valores de referência para posteriormente se proceder à normalização, de forma a integrar todos os indicadores numa classificação final. A normalização é fundamental para harmonizar escalas e tornar os atributos comparáveis (reduzir às mesmas unidades), ainda que estes possuam grandezas muito diferentes. Os valores de referência foram adaptados de acordo com as especificidades dos indicadores utilizados como se pode observar na Tabela 18.

Tabela 18 - Valores de referência para avaliação dos serviços ecossistêmicos

Indicadores	Valor de referência
Sequestro de carbono	Maior fator de sequestro de carbono para a área total do espaço verde
Remoção de poluentes atmosféricos	Índice de remoção da cobertura arbórea para a área total de espaço verde
Regulação da erosão e da água	% de área permeável em relação à área impermeável
Área por habitante	Maior valor de área por habitante nas áreas de serviço em estudo
Densidade populacional	Maior valor de densidade populacional nas áreas de serviço em estudo
Diversidade genética e biológica	Valor mínimo 1 e Valor máximo 2 conforme Patch analyst
Conectividade ecológica	Valor máximo 1 e Valor mínimo 2 conforme Patch analyst
Disponibilidade de habitat	Espaço verde com maior área total no município em estudo
Produção de alimentos	Área total do espaço verde é destinada à produção de alimentos
Produção de frutos	Área total do espaço verde é destinada à produção de frutos

A normalização dos indicadores é efetuada de modo a permitir a integração de todos eles na classificação de serviços ecossistêmicos para espaços verdes (CSEEV). Nesta fase, a normalização necessita de se adaptar à especificidade de cada indicador (Tabela 19) de modo a classificá-los numa escala de 0 a 100.

Tabela 19 - Normalização dos indicadores

Indicadores	Normalização dos indicadores
Sequestro de Carbono	Determina-se o rácio entre o valor atual e valor máximo de retenção para determinada área
Remoção de Poluentes Atmosféricos	
Regulação da erosão e do fluxo de água	Proporção (%) de área impermeabilizada em relação à proporção (%) de áreas permeáveis
Área por habitante	Atribui-se o valor 1 à área com mais capacidade e estabelece-se uma relação de proporção com as áreas secundárias
Densidade populacional	
Diversidade genética e biológica	A função normativa é obtida com os resultados do índice médio de forma e o índice de biodiversidade do Patch Analyst
Conectividade ecológica	
Disponibilidade de habitat	Atribui-se o valor 1 ao espaço verde com maior área total no município, estabelecendo-se uma relação de proporção com as áreas em estudo
Produção de alimentos	Determina-se o rácio entre a área total do espaço verde e a área atual composta por produção de alimentos
Produção de frutos	

Após termos todos os indicadores normalizados numa escala de 0 a 100 é possível proceder ao cálculo do CSEEV representado pela equação 1.

$$CSEEV = \sum [f_i (ind_i) \times p_i] \quad (1)$$

onde:

$f_i()$ – função de normalização do indicador i

ind_i – valor do indicador i

p_i – peso do indicador i

$ff_i(x)$ - definir a função ou funções (se forem diferentes de indicador para indicador)

É relevante referir que a atribuição de pesos aos indicadores poderá ser pertinente se quisermos dar maior importância a determinados tipos de serviço prestados pelos ecossistemas urbanos. Por fim, obtém-se o resultado final da classificação de serviços ecossistémicos para espaços verdes (CSSEV) através da agregação dos valores normalizados dos indicadores, onde é transmitido o desempenho global do espaço verde avaliado.

V. Quantificação dos serviços ecossistémicos reguladores através dos indicadores selecionados

a) Regulação climática (sequestro de carbono)

Para a quantificação do total de carbono sequestrado é necessário conhecer a produtividade líquida dos ecossistemas (PLE) com potencial de sequestração do mesmo, nas áreas em estudo. Devido à dependência da PLE de fatores - tais como as classes de idades da vegetação, tamanho, clima, características dos solos e gestão florestal, as taxas fotossintéticas e respiratórias do ecossistema - optou-se pela utilização de valores localizados em Portugal Continental, de modo a obter estimativas próximas da realidade limitando erros significativos.

As métricas para o cálculo do balanço de CO₂ foram estipuladas através da estimativa da PLE dos ecossistemas, nomeadamente povoamentos mistos e ecossistemas para os quais são conhecidas intervalos de PLE ou existam vários estudos de referência. Silva (2010), efetuou as seguintes considerações:

- Povoamentos puros de espécie vegetal conhecida (pinheiro manso): assumiu-se que o valor de PLE é igual ao dos estudos de referência. Aquando da existência de mais do que um estudo de referência ou de um intervalo de valores de PLE, determinou-se a média aritmética desses valores dado que não existe informação que permite a realização de uma média ponderada;
- Outras folhosas: assume-se que “a média dos valores do eucalipto, do montado e do carvalho-negral é representativa da PLE das florestas de outras folhosas, na medida em que não se conhece a composição destas áreas em termos de espécie vegetal que a constitui e a respetiva proporção”;
- Povoamentos mistos (outras folhosas + outras resinosas): foi determinada uma média ponderada dos valores de PLE, considerando uma composição de 2/3 de espécie dominante e 1/3 de espécie secundária, na medida em que não se conhece a proporção efetiva de cada espécie vegetal na constituição do ecossistema. A espécie dominante (em

maior proporção) corresponde à primeira referência no nome do povoamento e a espécie secundária (em menor proporção) corresponde à segunda referência no nome do povoamento;

- Pastagens naturais e culturas de sequeiro e regadio: considerou-se um valor de PLE igual ao dos estudos de referência. Aquando da existência de mais do que um estudo de referência ou de um intervalo de valores de PLE, determinou-se a média aritmética desses valores dado que não existe informação que permite a realização de uma média ponderada.

Salienta-se o facto dos valores de PLE serem estimados com base em estudos efetuados em anos distintos. Considera-se que, globalmente, estes valores são representativos da capacidade média anual de sequestro dos ecossistemas em estudo. Os valores de PLE estimados para cada composição vegetal identificada nos espaços verdes em estudo, tendo em conta as considerações citadas, são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 - Valores de PLE com potencial de sequestro de CO₂ considerados no estudo

Espécie	kgC.ha ⁻¹ .ano ⁻¹
Outras folhosas	1,03
Outras folhosas + outras resinosas	1,06
Pastagens naturais	0,26
Culturas de regadio	0,66
Pinheiro-manso	0,15

Após identificadas e caracterizadas as classes de uso do solo dos espaços verdes urbanos em estudo, procedeu-se ao cálculo da quantidade de carbono (C) sequestrado pelos respetivos ecossistemas vegetais, atendendo à seguinte equação:

$$SCev = (AC \times PLE) \quad (2)$$

onde:

SCev (sequestro de carbono do espaço verde) - quantidade de C sequestrado no espaço verde (kg CO₂)

AC (área de cobertura do espaço verde) – identificado como potencial sumidouro de carbono (m²)

PLE (produtividade líquida do ecossistema) - identificado como potencial sumidouro de carbono (kg C.ha⁻¹.ano⁻¹)

Conhecendo a quantidade de C sequestrado nos espaços verdes urbanos em estudo, foi possível determinar a quantidade de CO₂ sequestrado através da equação seguinte:

$$Sco_{2ev} = (SCev \times FCco_2) \quad (3)$$

onde:

Sco_{2ev} – quantidade de CO₂ sequestrado no espaço verde [kg CO₂]

SCev (sequestro de carbono do espaço verde) – quantidade de C sequestrado no espaço verde (kg CO₂)

FC_{CO_2} - fator de conversão de massa de C para massa CO_2 [adimensional]

O fator de conversão FC_{CO_2} corresponde à razão entre o peso molecular do CO_2 ($2 \times 16,00 + 12,01 = 44,01$) e a massa atômica do C (12,01):

$$FC_{CO_2} = 44,01/12,01 = 3,664$$

Após quantificar o sequestro de carbono das áreas em estudo, procedeu-se à identificação do desempenho da cobertura vegetal em termos de sequestro de carbono. Deste modo, o cálculo efetuado consistiu na determinação do máximo de sequestro, isto é, considerou-se que toda a área do espaço verde tivesse ocupado com a classe de uso de solo com maior fator de sequestro (valor de referência). Depois de se obter o valor máximo, é calculado o rácio entre o valor atual e o valor máximo possível.

b) Purificação do ar (remoção de poluentes atmosféricos)

A poluição gasosa atmosférica é removida pela superfície das plantas. As árvores removem poluentes gasosos principalmente através dos estomas foliares interceptando as partículas em suspensão. Algumas partículas podem ser absorvidas pelas árvores, contudo, a maioria das partículas interceptadas fica retida na superfície da planta. Na maioria das vezes, a vegetação torna-se um local de retenção temporário para as partículas atmosféricas, pois as partículas interceptadas podem ser devolvidas para a atmosfera, lavadas pela chuva ou depositadas no solo através da queda de folhas e ramos (Nowak *et al.*, 2002).

Nesta investigação, a quantidade de poluentes atmosféricos removidos estimou-se para a cobertura arbórea e cobertura herbácea.

Para o cálculo da remoção de poluentes atmosféricos pela cobertura arbórea e cobertura herbácea, as estimativas estabelecidas foram obtidas num levantamento das árvores da floresta urbana em Brooklyn, Nova Iorque, em 1994. Isto durante períodos sem precipitação (Nowak e Crane, 2002) e numa pesquisa acerca das taxas de remoção de poluentes pela vegetação herbácea em terraços verdes em Chicago durante um período de um mês (Yang *et al.*, 2008).

Ambos os estudos (Brooklyn e Chicago) examinaram a remoção de SO_2 , NO_2 , PM_{10} e O_3 . Ainda, o estudo de Brooklyn estimou o valor de CO removido pela cobertura arbórea. No entanto, não foi encontrado na literatura estimativas comparáveis à remoção de CO pela cobertura herbácea. Por essa razão, neste estudo optou-se por não quantificar este critério.

Yang *et al.* (2008) no seu trabalho desenvolvido em Chicago, revela um índice de O_3 para a cobertura herbácea com uma taxa de remoção superior ao das árvores de Brooklyn. Uma vez que as árvores proporcionam uma maior remoção para todos os diferentes tipos de poluentes, parece improvável que a cobertura herbácea remova mais O_3 do que as árvores. De forma a incluir o O_3 nesta investigação, considerou-se o fator de remoção das árvores de Brooklyn e estabeleceu-se uma relação de proporção para a cobertura herbácea entre os índices definidos por Yang *et al.* (2008) (cobertura herbácea e cobertura arbórea). Do mesmo modo, para o NO_2 , estabeleceu-se uma relação de proporção para a cobertura herbácea entre os índices definidos por Yang *et al.* (2008), assumindo o índice de remoção das árvores de Brooklyn. No presente trabalho, considera-se que a discrepância entre as coberturas deveria ser maior, assim como todos os diferentes índices utilizados o indicam.

Com a caracterização da composição do solo e delimitação das áreas respectivas - concretizadas no início do caso prático através do uso de ferramentas do *software* ArcGIS - e após a obtenção dos valores representados na Tabela 21, procedeu-se ao cálculo da quantidade de poluentes removidos pela cobertura arbórea e cobertura herbácea através da equação 4.

Tabela 21- Valores de remoção de poluentes atmosféricos para a cobertura arbórea e cobertura herbácea (vegetação rasteira e pequenos arbustos)

Poluente	Cobertura arbórea	Cobertura herbácea	Unidades
SO ₂	1,3	0,7	g / m ² ano
NO ₂	2,5	1,6	g / m ² ano
PM ₁₀	2,7	1,1	g / m ² ano
O ₃	3,1	1,9	g / m ² ano

$$RPev = (AC \times VRP) \quad (4)$$

onde:

RPev (remoção de poluentes no espaço verde) - quantidade de poluentes atmosféricos removidos no espaço verde (g / m² ano)

AC (área de cobertura do espaço verde) – identificado como potencial sumidouro de poluentes atmosféricos (m²)

VRP (valor de remoção de poluentes) – identificado o potencial de remoção de poluentes atmosféricos (g / m² ano)

Após quantificar a remoção de poluentes atmosféricos das áreas em estudo, procedeu-se à identificação do desempenho da cobertura vegetal em termos de sumidouro de poluentes atmosféricos. Deste modo, o cálculo efetuado consistiu na determinação do máximo de remoção, ou seja, considerou-se que toda a área do espaço verde tivesse ocupado com vegetação arbórea (valor de referência). Depois de se obter o valor máximo, foi permitido avaliar os espaços verdes de acordo com o seu desempenho atual para cada um dos poluentes analisados, obtido através do rácio entre o valor atual e o valor máximo possível.

- c) Regulação da erosão e do fluxo de água (% da área permeável em relação à superfície impermeável)

A metodologia abordada na quantificação do indicador percentagem de superfície impermeável em relação à superfície permeável - o qual integra a capacidade dos serviços de ecossistema regulação da erosão e regulação do ciclo hídrico (fluxo da água) - deriva do cálculo da proporção (%) de área impermeabilizada (m²), resultante do somatório de infraestruturas construídas (áreas edificadas, vias pedonais, caleiras) em relação à proporção (%) de áreas permeáveis (somatório das áreas permeáveis: coberto vegetal, recursos hídricos).

Dado que os valores do cálculo acima referido são expressos em %, não existe necessidade de efetuar novos cálculos para obtermos o desempenho de cada um dos espaços verdes em estudo.

VI. Quantificação dos serviços ecossistémicos culturais através dos indicadores selecionados

- a) Recreação (Área de serviço dos espaços verdes – *buffer* 300 m)

Não existe um conceito universal que caracterize os espaços verdes urbanos de proximidade (ou de vizinhança como podem também ser apelidados). No entanto, o conhecimento das suas características e respetivas especificidades pode ser apurado (Figueiredo, 2014).

De acordo com Gupta *et al.* (2012), a proximidade pode ser definida como uma área de características homogéneas. À escala local, o bairro é um exemplo pertinente de proximidade, sendo esta a escala indicada para a aplicação de estratégias verdes.

Salienta-se que a metodologia abordada centra-se na distância máxima desde a residência aos espaços verdes em estudo. Deste modo, a área de serviço é determinada pela dimensão dos mesmos.

Segundo vários autores, os espaços verdes de proximidade devem situar-se a 5 minutos a pé, correspondendo ao máximo de 400 metros desde casa (Figueiredo, 2014). De acordo com os critérios apresentados por MIRA-S (2000), a distância recomendada para espaços verdes de proximidade situa-se entre os 150 metros (espaços verdes residenciais ou adjacentes à habitação) e os 400 metros. Outra fonte revela que o governo regional da capital Bruxelas determinou que todos os seus habitantes devem ter acesso a espaços verdes públicos a uma distância de 200m a partir de suas residências. A mesma fonte definiu também que a mesma população deverá conseguir alcançar um espaço verde público de pelo menos 1 ha a uma distância de 400m, correspondente a uma caminhada de 5 minutos (Van de Voorde, 2017).

Importa assinalar que estes são padrões gerais que devem ser usados com precaução em situações de carácter específico, como em casos de mobilidade limitada, e tendo em conta outras restrições que poderão obter um tratamento e atenção especial no que diz respeito a grupos específicos de usuários (Van Herzele e Wiedemann, 2003).

Com isto, considera-se que a distância limite centra-se entre os 300 e 400 metros, após o qual o uso começa a diminuir rapidamente, quando se começa a deparar com espaços verdes de hierarquia superior (Figueiredo, 2014).

Para a análise do serviço recreação desempenhado pelos espaços verdes recorreu-se às funções de análise espacial do *software* ArcGIS, e, dadas as características do território onde se insere a

presente dissertação, optou-se por determinar uma área de serviço através de um *buffer* de 300 metros sobre cada espaço verde.

Após a execução dos *buffers* para determinar as áreas de serviço sob cada espaço verde em estudo, tornou-se necessário analisar a população residente que intersecta com o *buffer* predefinido.

Para isso, torna-se necessário recorrer a dados estatísticos da população em formato vetorial. A informação estatística por subsecção e em formato vetorial é vantajoso quando estamos a trabalhar no *software* de análise espacial ArcGIS. Através das suas ferramentas é possível fazermos várias interseções (função *intersect*) de modo a aferir a população residente que se insere na área de serviço estabelecida. Como os dados são representados por polígonos transmitindo a informação estatística total para cada subsecção, alguns dos polígonos intersectados vão para além dos limites do *buffer* estabelecido. De modo a averiguar qual a população residente que se insere na área de serviço, é pertinente analisar a percentagem de área que cada polígono intersecta com o *buffer* de 300 metros definido previamente. Após a identificação da percentagem de área interceptada com o *buffer*, estabelece-se uma relação de proporção para a população residente. Exemplificando, se apenas 40% da área de um polígono intersecta com o *buffer*, vamos ter em conta 40% da população residente de determinada subsecção.

É importante ter em conta as seguintes considerações:

- Alguns polígonos interceptados podem ser excluídos por não possuírem habitações dentro da área do *buffer*;
- Outros polígonos podem ser excluídos por apenas interceptarem uma ínfima parte da sua área total;
- Polígonos que se inserem quase na totalidade dentro da área do *buffer* mas que vão minimamente para além do limite do *buffer* podem ser mantidos no formato original, compensando as perdas do segundo ponto.

Com o tratamento dos dados efetuado através dos passos mencionados anteriormente, calcula-se a densidade populacional da população residente para a área de serviço definida (*buffer* – 300 metros) através da seguinte equação:

$$DPas = (AB \times PRai) \quad (5)$$

onde:

DPas - densidade populacional da área de serviço (nº/km²)

AB – área do *buffer* a 300 metros

PRai – população residente dentro da área de serviço do espaço verde

Adicionalmente realizou-se o cálculo da área por habitante através da subsequente equação:

$$A.hab = (Aev \times PRai) \quad (6)$$

onde:

A.hab (m²/hab) – área por habitante

Aev – área do espaço verde m²

PRai – população residente dentro da área de serviço do espaço verde

De modo a integrar o indicador área de serviço e o indicador densidade populacional no modelo de avaliação definido, é atribuído o valor 1 para a área de serviço com maior valor de área em m² por habitante e densidade populacional (valor de referência) e estabeleceu-se uma relação de proporção para os restantes espaços verdes.

VII. Quantificação dos serviços ecossistémicos de suporte através dos indicadores selecionados

- a) Diversidade genética e biológica (Índice de diversidade de *Shannon*)
- b) Conetividade ecológica (Índice médio de forma)

A análise efetuada na quantificação de serviços ecossistémicos de suporte comporta todos os elementos constituintes da paisagem (geomorfologia, água, cobertura vegetal...). Efetivamente, a definição de diferentes estruturas espaciais em função do estabelecimento de inter-relações distintas entre os elementos da paisagem conduz a uma diversificação da paisagem, permitindo a identificação de diferentes unidades de paisagem, que se podem definir como «*áreas com características relativamente homogêneas, com um padrão específico que se repete no seu interior e que as diferencia das suas envolventes*» (Oliveira *et al.*, 2004).

Do ponto de vista da ecologia, a análise da paisagem e da sua dinâmica pressupõe a distinção de três características fundamentais: a estrutura, definida pelas relações espaciais que se estabelecem entre os diversos elementos; a função, correspondente às interações entre os elementos espaciais; e a mudança, relacionada com a alteração na estrutura e função do mosaico paisagístico ao longo do tempo (Vieira, 2009).

Neste sentido, a análise da paisagem compreende «*o estudo dos padrões da paisagem, das interações entre manchas num mosaico de paisagem e a forma pela qual estes padrões e interações mudam no tempo [...] considera o desenvolvimento e dinâmica da heterogeneidade espacial e os seus efeitos nos processos ecológicos*» (Risser, 1984, cit. por Vieira, 2009). Os padrões dos elementos da paisagem (nomeadamente as manchas) influenciam, de forma decisiva, as características ecológicas. Deste modo, para proceder à compreensão da função e mudança da paisagem na relação entre as várias unidades espaciais, torna-se indispensável quantificar a sua estrutura (Vieira, 2009).

As estruturas da paisagem caracterizam-se por três tipos de elementos fundamentais:

- ⊃ as manchas (*patches*) correspondentes a «*superfícies não lineares, diferindo em aparência da sua vizinhança. As manchas variam largamente em termos de tamanho, forma, tipo, heterogeneidade e características de fronteira. Além disso, as manchas estão envolvidas numa matriz, área circundante que possui uma diferente estrutura de espécies ou composição*» (Forman e Godron, 1986). As manchas são influenciadas por algumas características importantes como o seu tamanho, uma vez que a dimensão das manchas condiciona a dinâmica e os fluxos de energia e nutrientes, e, a forma, que interfere

diretamente com o efeito de margem, importante ao nível da biodiversidade e das dinâmicas aí presentes (Vieira, 2009).

- Os corredores correspondentes a elementos lineares que promovem a mobilidade (de bens, pessoas, energia...) através da paisagem, sendo que o «*uso de corredores para efeitos de transportes, proteção, recursos e efeitos estéticos penetra quase todas as paisagens de uma forma ou de outra*» (Forman e Godron, 1986);
- A matriz, que «*constitui, embora não de uma forma aparente, o elemento mais importante para a análise e compreensão efetiva da estrutura da paisagem. (...) É o tipo de paisagem mais extenso e mais conectado, que portanto desempenha um papel dominante no funcionamento da paisagem*» (Casimiro, 2002, p. 412).

A quantificação dos elementos da paisagem baseia-se na análise da distribuição, forma e configuração espacial das manchas. Assim, a aplicação deste processo tem de ser efetuado ao nível da paisagem integral, calculando as interações entre diferentes classes de manchas, e ao nível das classes de manchas, tendo em conta as classes de ocupação do solo. Esta análise aborda a composição (descrição da qualidade e quantidade de elementos – manchas – da paisagem) e a configuração da paisagem (descrição da distribuição física das manchas na paisagem) com base nos índices de forma, complexidade e de diversidade (tabela 22).

Para esta análise, recorreu-se ao *software* Patch Analyst, que tem como principais vantagens possibilitar a análise de conjuntos de dados em formato vetorial e ser perfeitamente integrável no ArcGIS.

Tabela 22 - Índices da paisagem utilizados

Índices da Paisagem	
Manchas	Número de manchas
	Densidade de manchas (nº/área)
	Dimensão média das manchas (ha)
	Desvio padrão da dimensão média das manchas (ha)
	Total de margens (m)
	Densidade de margens (m/ha)
	Dimensão média da margem por mancha (m)
Índice de complexidade	Índice médio de forma
Índice de biodiversidade	Índice de diversidade de Shannon

c) Disponibilidade de habitat

Relativamente ao indicador disponibilidade de habitat, considera-se a área total do espaço verde urbano, uma vez que a quantidade de área influencia a intensidade dos processos ecológicos ao mesmo tempo que contribui para a manutenção da biodiversidade e heterogeneidade de habitats. Para além destes benefícios, a área disponível tem um papel importante na capacidade de albergar diversas atividades recreativas e na disponibilidade de bens e serviços.

Para classificar a área dos espaços verdes quanto à disponibilidade de habitat, é considerada a área total e esta é comparada à área dos restantes espaços verdes urbanos da cidade (valor de referência). Esta análise permite compreender a escala de desempenho quanto à disponibilidade de habitat dos espaços verdes em estudo.

VIII. Quantificação dos serviços ecossistémicos de produção através dos indicadores selecionados

a) Produção de alimentos

A produção de alimentos pode ser avaliada com base na identificação de lotes respeitantes a hortas comunitárias. Assume-se que todas as hortas comunitárias produzem alimentos (e.g., horticultura urbana, colheitas de cogumelos, frutos, etc.). No entanto, para integrar a produção de alimentos na classificação quantitativa dos serviços ecossistémicos em análise, torna-se necessário fazer um levantamento da área ocupada pelos serviços de produção.

Em relação às árvores de fruto, muitas vezes dispersas pela área dos espaços verdes urbanos, recorreu-se a uma estimativa de percentagem de área ocupada pela copa das árvores de fruto através da observação no campo. Depois de identificar a área correspondente aos serviços de produção, calculou-se o desempenho do serviço na área em análise através do valor de referência. Isto significa que foi assumido que toda a área do espaço verde está ocupada com serviços de produção (valor máximo) e estabeleceu-se um rácio entre o valor atual e o valor máximo.

b) Densidade de animais

Para proceder ao cálculo da densidade de animais é fundamental fazer um levantamento da quantidade de espécies de gado presentes no momento da avaliação. Após feito o levantamento procede-se ao cálculo da seguinte equação:

$$D. \text{animais} = (A_{ev} \times n^{\circ} \text{animais}) \quad (7)$$

onde:

$D. \text{animais}$ (densidade animais) – densidade das espécies de gado

A_{ev} (área espaço verde) – área total do espaço verde em análise

$N^{\circ} \text{animais}$ (número de animais) – número de animais presentes no momento do levantamento

Posto isto, e de modo a integrar o indicador na classificação final procedeu-se ao cálculo do seu desempenho na área em análise.

4. Estudo de caso

Nesta secção serão apresentados todos os dados utilizados para a análise no decorrer deste estudo seguidos de uma descrição detalhada dos mesmos.

4.1. Enquadramento geográfico do concelho

O concelho de Guimarães situa-se na região Minho, no distrito de Braga, e está localizado a noroeste de Portugal na sub-região do Vale do Ave. É limitado a norte pelo concelho da Póvoa de Lanhoso, a leste por Fafe, a sul por Santo Tirso, Vizela e Felgueiras, a oeste por Vila Nova de Famalicão e a noroeste por Braga (Figura 6).

É sede de um município com 240,95 km² de área e com uma população de 158 124 habitantes (INE - Censos 2011), o que confere uma densidade populacional de 656 hab/km².

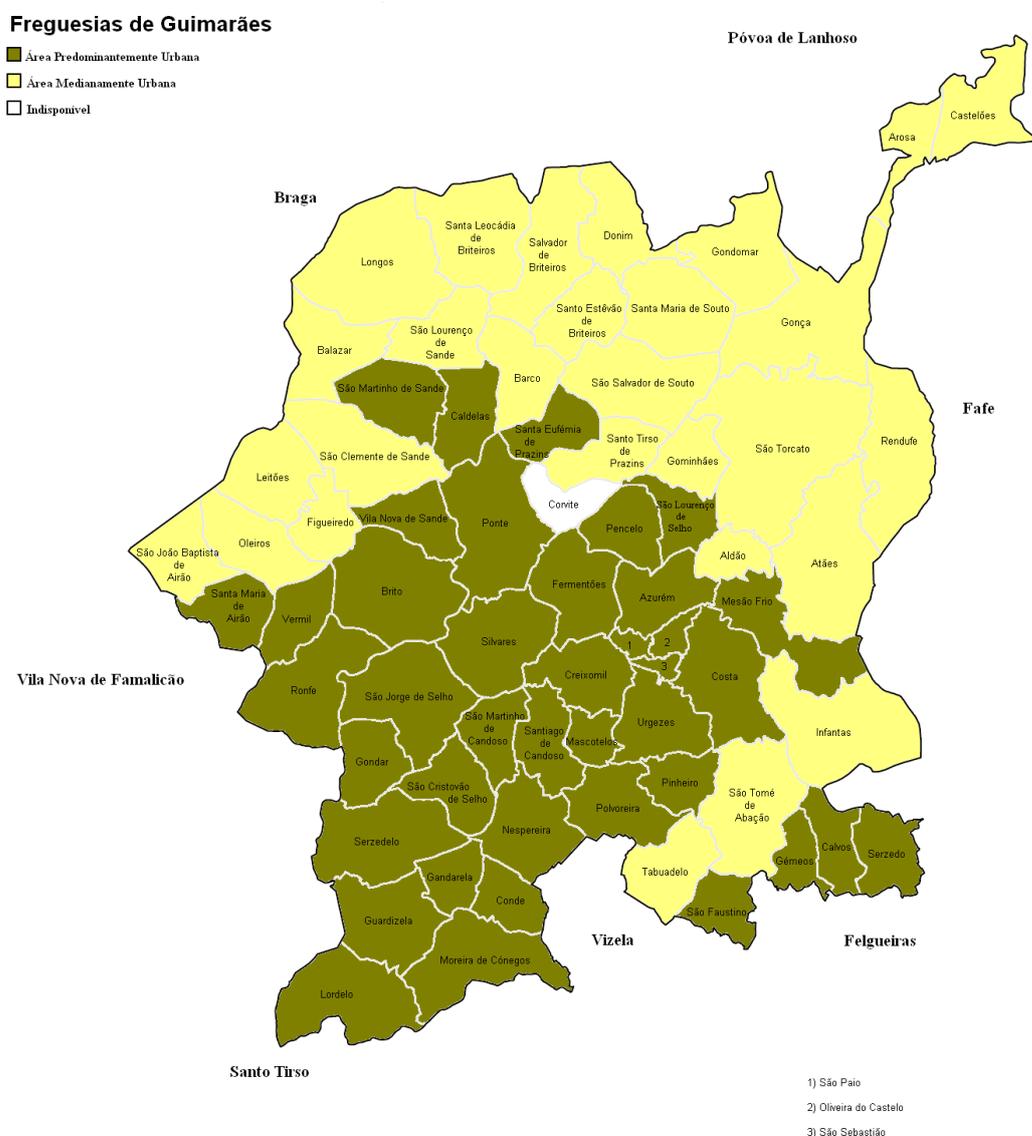


Figura 6 - Enquadramento geográfico do concelho de Guimarães (Fonte: wikipédia)

O estudo de caso proposto consiste na avaliação dos serviços ecossistémicos urbanos, aplicado à cidade de Guimarães, considerado por muitos o Berço da Nação e um dos concelhos mais emblemáticos do nosso país. Com uma população de 51.900 habitantes (INE, 2012), Guimarães é uma cidade de média dimensão e distingue-se pela qualidade urbana e arquitetónica do seu centro histórico que em 2001, foi inscrito pela UNESCO na lista de Património Mundial. A cidade concorreu no presente ano ao prémio de Capital Verde Europeia 2020, onde várias cidades da Europa estão na linha da frente do desenvolvimento sustentável, de um futuro mais verde e em harmonia com a natureza. Esta circunstância levou à consideração do estudo, onde foram considerados três espaços verdes urbanos, com o objetivo de quantificar os serviços ecossistémicos provenientes destes espaços.

4.2. Descrição das áreas em estudo

Para a quantificação dos serviços ecossistémicos na cidade de Guimarães foram abordados três parques urbanos de diferentes pontos da cidade, todos eles com características bem diversificadas (Figura 7).

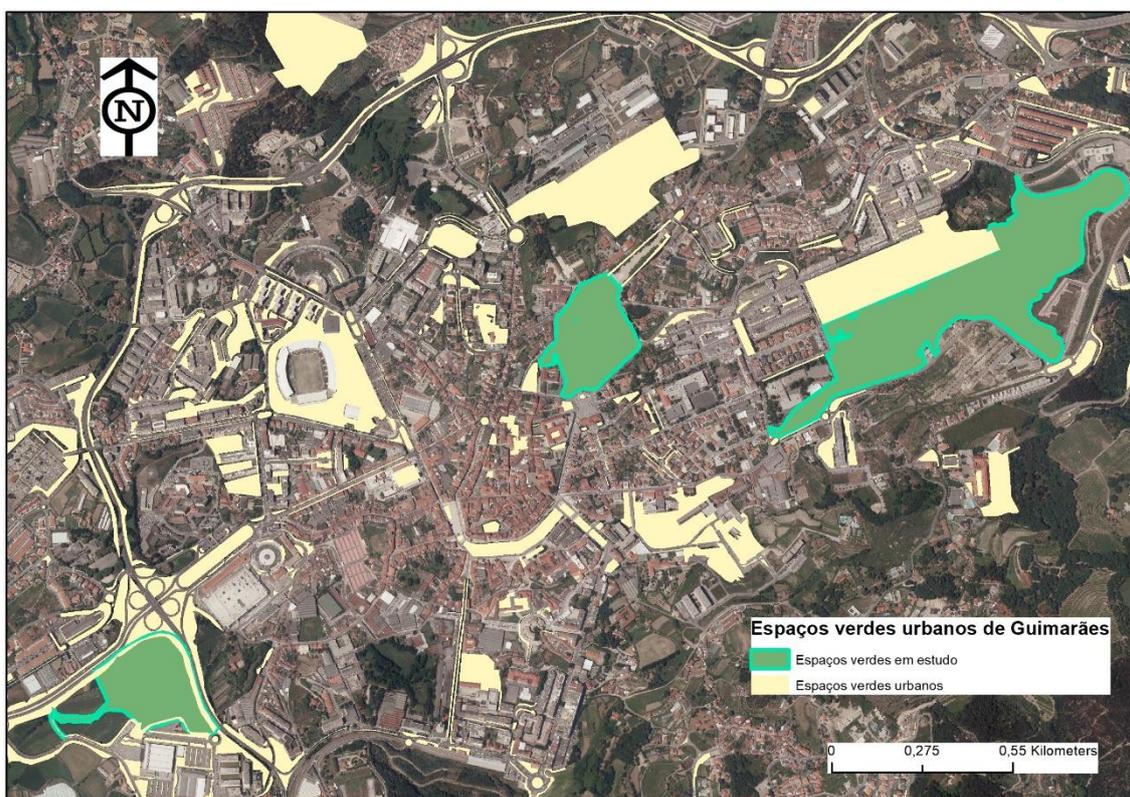


Figura 7 - Localização geográfica dos espaços verdes urbanos em estudo

4.2.1. Parque da Cidade

Muito perto do centro e junto do complexo desportivo do Vitória Sport Clube, o parque da cidade estende-se por um espaço amplo e agradável. Está localizado na freguesia da Costa e compreende uma área equivalente a 23 ha (Figura 8), onde se privilegia a manutenção das estruturas constituídas por pedra e vegetação pré-existente. Desenvolve-se ao longo de uma alameda - eixo estruturante que atravessa toda a zona – relacionando-se com o parque e a linha de água (Ribeira

da Costa/Couros). Esta última foi parcialmente requalificada com técnicas de engenharia natural (faxinas e muros de suporte vivos) que estabilizam e recuperam ecologicamente os taludes. A vegetação presente neste alinhamento é composta com espécies de médio/grande porte (plátanos, freixos, carvalhos, bétulas) notáveis pela sua floração.

Próximo da entrada principal do parque, junto à Ribeira, encontram-se essencialmente choupos que serviam de suporte à vinha de enforcado que bordejavam os antigos campos agrícolas, e onde se construiu um lago artificial redondo com esculturas de peixes coloridos, representando simbolicamente as diversas atividades de Guimarães (oferta da cidade de Kaiserslautern - Alemanha). O Parque da Cidade foi inaugurado em 2000, com o projeto da autoria da Arq.^a Isabel Saavedra e da Arq.^a Paisagista Laura Roldão Costa (1ª fase).

Por toda a área, existem diversos percursos pedonais que se estendem pelas clareiras abertas de prado com árvores que pontuam o espaço e destaca-se um lago inserido numa das clareiras de relva. Por entre a constante presença de água e vegetação, existem variados equipamentos para todas as faixas etárias como por exemplo, um parque infantil, áreas de merendas e áreas de desporto (pátio desportivo, circuito de manutenção, percursos pedonais/bicicletas, mesas de ping-pong, equipamentos geriátricos e espaço *street workout*, áreas de descanso e café/restaurante).

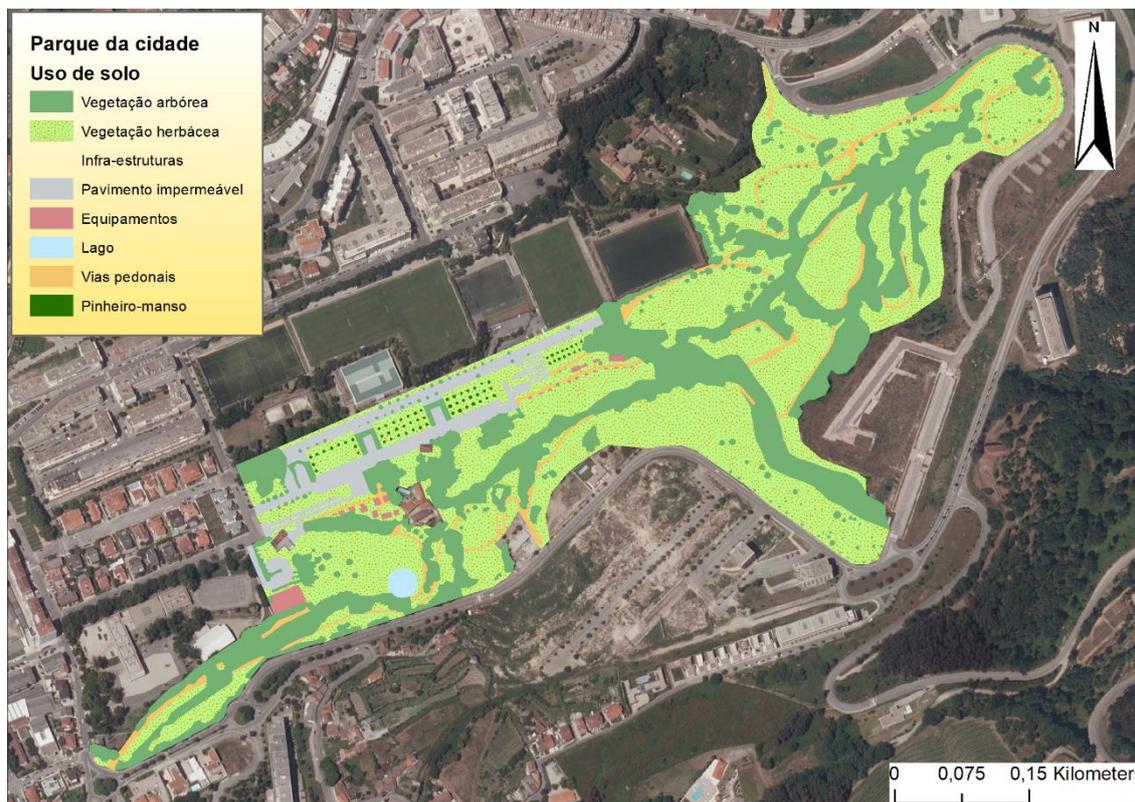


Figura 8 - Planta do Parque da Cidade

Outras características do Parque da cidade são apresentadas na Tabela 23.

Tabela 23 – Características do Parque da cidade

Equipamentos	Arte pública	Flora
<ul style="list-style-type: none"> • Parque infantil • Circuito de manutenção • Percurso pedonal e bicicletas • Pátio desportivo • Equipamentos geriátricos • Espaço Street Workout • Café • Restaurante 	<ul style="list-style-type: none"> • Esculturas 	<ul style="list-style-type: none"> • Populus nigra (Choupo-negro), Fraxinus angustifolia (Freixo-comum), Arbutus unedo (Medronheiro), Eleagnus angustifolia (Oliveira-do-paráiso), Sorbus aucuparia (Tramazeira), Citrus sinensis (Laranjeira), Cordyline australis (Fiteira), Pinus pinea (Pinheiro-manso), Quercus robur (Carvalho-roble), Prunus avium (Cerejeira-brava), Prunus laurocerasus (Loureiro-real), Aesculus hippocastanum (Castanheiro-da-Índia), Hebe andersonii (Verónica), Betula celtiberica (Vidoeiro), Acer campestre (Bordo-comum), Acer pseudoplatanus (Plátano-bastardo), Alnus glutinosa (Amieiro), Teucrium fruticans (Mato-branco), Juniperus horizontalis (Junípero-horizontal), Laurus nobilis (Loureiro), Phormium tenax “Amazing Red” (Espadana), Quercus rubra (Carvalho-americano)

Fonte: Guimarães Turismo

4.2.2. Parque de Lazer da Colina Sagrada

O Parque de Lazer da Colina Sagrada está situado na freguesia da Oliveira do Castelo, mais especificamente no Monte Latito e compreende uma área equivalente a 6.5 há (Figura 9). Este espaço remonta ao tempo da idade média, tendo sido edificado pela condessa do Condado Portucalense – Mumadona Dias – a mulher mais poderosa do seu tempo no noroeste da Península Ibérica. A partir de 1940, o parque foi submetido a trabalhos de recuperação liderados pelo Arq.º Rogério de Azevedo e, em 1957, foi incluído um projeto paisagista da autoria do Arq.º Paisagista Viana Barreto (que envolve o conjunto histórico, valorizando os monumentos). Dos vários elementos de elevado valor simbólico no espólio nacional e reconhecidos internacionalmente, destacam-se o Paços dos Duques de Bragança, o Castelo de Guimarães, o Campo de S. Mamede e a Capela de S. Miguel. Os monumentos evidenciados contribuíram significativamente para a valorização do espaço envolvente e atribuição da honrosa distinção de “Património da Humanidade”.

Este parque apresenta-se perfeitamente adaptado à colina, sem grandes movimentos de terra e possui amplos relvados e frondosas árvores que embelezam toda a atmosfera. O espaço caracteriza-se pela existência de um arvoredo bastante denso e diversificado, destacando-se plátanos, castanheiros, castanheiros da Índia, carvalhos, sobreiros, loureiros e ciprestes. As principais funções atribuídas ao parque consistem no recreio e lazer, conservação da natureza e espaço de enquadramento.

Em 2012, no âmbito da Capital Europeia da Cultura, o Parque de Lazer da Colina Sagrada sofreu uma intervenção urbanística/paisagística com um projeto da autoria do Arq.º Camilo Cortesão. As condições de usufruto do espaço foram renovadas, permitindo uma maior valorização dos elementos edificados, aumentando o seu reconhecimento e interesse.

O atravessamento principal entre o parque e a zona intramuros apresenta um alinhamento de esbeltos ciprestes que acentuam o eixo apontado à estátua de D. Afonso Henriques e ao Castelo. Em 2010, este jardim recebeu o 3º prémio nacional de arquitetura paisagística, na categoria de espaços públicos e espaços exteriores de equipamentos.

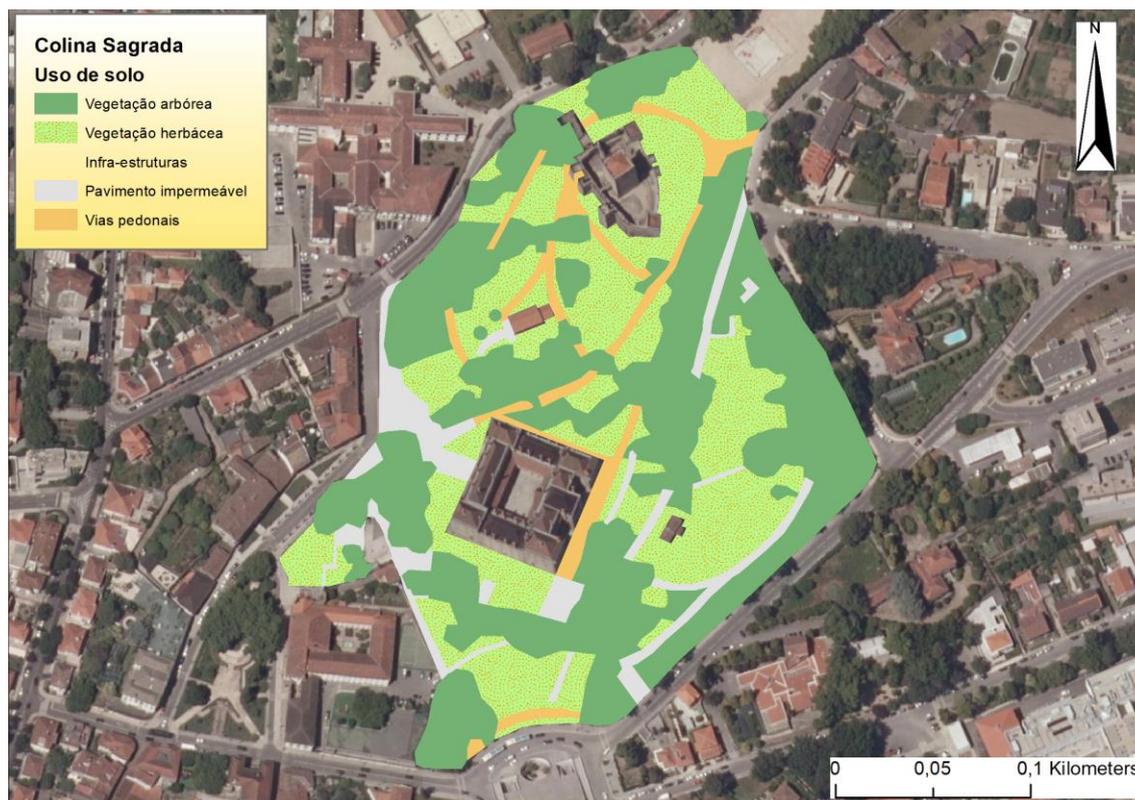


Figura 9 – Planta do Parque de Lazer da Colina Sagrada

Outras características do Parque da Lazer da Colina Sagrada são apresentadas na Tabela 24.

Tabela 24 – Características do Parque de Lazer da Colina Sagrada

Equipamentos	Arte pública	Flora
<ul style="list-style-type: none"> • Paço dos Duques de Bragança • Castelo de Guimarães • Capela de S. Miguel • Capela de Sta. Cruz 	<ul style="list-style-type: none"> • Estátua D. Afonso Henriques • Busto de Martins Sarmento 	<ul style="list-style-type: none"> • Cupressus sempervirens (Cipreste-comum), Chamaecyparis lawsoniana (Falso-cipreste), Quercus suber (Sobreiro), Acácia melanoxylon (Acácia-da-Austrália) Olea europaea (Oliveira), Platanus orientalis (Plátano), Ginkgo biloba (Ginkgo), Prunus persica (pessegueiro) Prunus avium (Cerejeira-brava), Quercus robur (Carvalho-roble), Quercus rubra (Carvalho-americano), Quercus coccinea (Carvalho-escalarte), Prunus serrulata (Cerejeira-do-Japão), Rosa spp. (Rosa), Prunus laurocerasus (Loureiro-real), Laburnum anagyroides (Laburno), Ligustrum lucidum (Alfenheiro-do-Japão), Ligustrum sinensis (Alfenheiro-da-China), Liquidambar styraciflua (Liquidâmbar), Aesculus hippocastanum (Castanheiro-da-Índia), Robinia pseudoacacia (Robinia), Corylus avellana (Aveira), Laurus nobilis (Loureiro-comum)

Fonte: Guimarães Turismo

4.2.3. Hortas pedagógicas

A horta pedagógica e social de Guimarães localiza-se na Veiga de Creixomil. Insere-se na sub-bacia hidrográfica do Rio Selho e é atravessada pela Ribeira de Couros (afluente principal do Rio Selho), objeto de requalificação do leito e margens com a aplicação de métodos de engenharia natural (faxinas vivas e galeria ripícola). Possui uma área equivalente a 7.5 há, distribuídos por nove campos agrícolas de domínio público (Figura 10).

Integrando-se na estrutura ecológica urbana, caracteriza-se por ser um espaço agrícola de interesse cultural, social, recreativo e económico, na medida em que para além do abastecimento familiar, se foca na ocupação sadia dos tempos livres. Segundo a Câmara Municipal de Guimarães, a horta pedagógica foi pensada com a ideia de que o espaço de habitar deve partilhar do equilíbrio com a natureza, tornando esses dois lugares complementares. A região onde se encontra inserida é marcada por fortes tradições agrícolas, de modo que, este espaço é valorizado como património cultural de origem rural.

Tem como intuito aproximar e confrontar dois espaços com identidades próprias, transportando para a cidade a experiência do campo e proporcionando harmonia entre a população urbana e a natureza – da casa passamos ao espaço habitar coletivo e da horta ao *continuum naturale* de uso público.

Para além de possibilitar a melhoria da qualidade de vida das populações e o aumento da experiência prática e sensorial na ligação com a natureza, a horta pedagógica apresenta um conjunto de atividades de educação ambiental, nomeadamente um espaço dedicado à compostagem. O papel educativo desempenhado procura despertar junto das populações mais jovens uma consciencialização da importância das práticas associadas à agricultura biológica, bem como dos produtos naturais que proporcionam uma alimentação saudável e equilibrada resultante dessa prática. Ainda, disponibiliza diversos serviços e promove múltiplas iniciativas, nomeadamente para festejar datas comemorativas do calendário rural/ambiental. E este espaço está também dotado de um armazém para sementes e ferramentas, uma sala pedagógica, bancos e mesas de piquenique e instalações sanitárias.

A 1ª fase da Horta Pedagógica foi criada em 2008 e a 2ª fase em 2011, com o projeto da autoria do Arqº Miguel Frazão, da Arqª Paisagística Rita Salgado e do Engº Agrícola Jorge Fernandes.



Figura 10 – Planta das Hortas Pedagógicas

Outras características das Hortas Pedagógicas são apresentadas na Tabela 25.

Tabela 25 – Características das Hortas Pedagógicas

Equipamentos	Arte pública	Flora
<ul style="list-style-type: none"> • não identificados 	<ul style="list-style-type: none"> • Instalação "Terzo paradiso" 	<ul style="list-style-type: none"> • Populus nigra (Choupo-negro), Fraxinus angustifolia (Freixo-comum), Citrus sinensis (Laranja), Malus domestica (Macedeira), Alnus glutinosa (Amieiro), Rhododendron spp. (rododendro)

Fonte: Guimarães Turismo

4.3. Avaliação dos serviços ecossistémicos nas áreas em estudo

Conforme referido no capítulo anterior, a necessidade de trabalhar com dados em ambiente ArcGIS sob a cartografia do território em análise foi fundamental. Esta ferramenta permitiu determinar as áreas correspondentes aos diferentes usos de solo, identificando as áreas de abrangência essenciais para o cálculo dos indicadores. Neste estudo de caso, optou-se pelos ortofotomapas de 2012 do município de Guimarães - mapa base onde a análise foi elaborada - e ainda, recorreu-se a um ficheiro em formato vetorial com a informação das áreas correspondentes dos espaços verdes urbanos. Este ficheiro vetorial e os ortofotomapas de 2012 do município - ambos disponibilizados pelo departamento de geografia da Universidade do Minho - são a base onde se desenrolou todo o processo de análise espacial do respetivo trabalho. Deste modo,

possibilitou-se a aplicação da metodologia supracitada no cálculo dos indicadores quantificando a prestação dos serviços de ecossistema avaliados nas áreas em estudo.

4.3.1. Serviços reguladores

I. Regulação climática - Indicador: Sequestro de carbono

Toda a vegetação presente nas áreas de estudo apresenta capacidade de sequestro de carbono, no entanto, de forma a avaliar os espaços verdes com maior pormenor, é necessário compreender quais as espécies arbóreas predominantes e distinguir os tipos de cobertura em termos de capacidade de sequestro de carbono.

Recorrendo aos mapas (figuras 8, 9 e 10) é possível compreender a distinção quanto aos tipos de cobertura e esses resultados são apresentados na seguinte tabela (26).

Tabela 26 - Resultados do cálculo de CO₂ nos espaços verdes em estudo

Classe de uso do solo	Área [ha]	Factor de sequestro [tC.ha ⁻¹ .ano ⁻¹]	C sequestrado [tC. ano ⁻¹]	CO ₂ sequestrado [tCO ₂ . ano ⁻¹]	Totais CO ₂ sequestrado [tCO ₂ . ano ⁻¹]
Colina Sagrada					
Outras folhosas + outras resinosas	3,0	10,6	31,4	114,9	134,6
Pastagens naturais	2,1	2,6	5,4	19,7	
Hortas Pedagógicas					
Outras folhosas	1,5	10,3	15,7	57,6	157,0
Pastagens naturais	1,6	2,6	4,2	15,3	
Culturas de regadio	3,5	6,6	23,0	84,2	
Parque da cidade					
Outras folhosas	8,0	10,3	82,1	300,9	415,7
Pastagens naturais	12,0	2,6	31,2	114,4	
Pinheiro-manso	0,1	1,5	0,1	0,3	

Para os três parques urbanos em análise, as espécies de árvores dominantes são principalmente folhosas. Apenas no Parque de Lazer da Colina Sagrada, a presença de algumas espécies resinosas levou à integração do fator de sequestro constituído por espécie dominante e secundária, respetivamente. Para a cobertura herbácea (vegetação rasteira/relvados e pequenos arbustos) considerou-se o fator de sequestro das pastagens naturais. Esta opção aplica-se para todos os parques verdes urbanos em análise.

Relativamente às Hortas Pedagógicas, aplicou-se o fator de sequestro das culturas de regadio para os lotes destinados à agricultura urbana. Compreendendo uma percentagem de área superior às restantes classes de uso do solo identificadas com capacidade de sequestro de carbono, a agricultura urbana nas Hortas Pedagógica é responsável por sequestrar 84,2 toneladas de CO₂ anuais, mais de metade que toda a capacidade do parque (Figura 11).



Figura 11 - Lotes destinados à agricultura urbana nas Hortas Pedagógicas

Em relação ao parque da cidade, este possui uma área de 20,1 ha capacitada para atuar como sequestrador de carbono, sendo que 12,1 ha correspondem, essencialmente, às extensas áreas de relvado aqui presentes capazes de sequestrar 114,4 toneladas de CO₂ anualmente (Figuras 12 e 13). Os 3 ha de árvores do Parque de Lazer da Colina Sagrada sequestram valores idênticos aos da cobertura herbácea do parque da cidade.

Ainda no parque da cidade, evidencia-se a existência de plantações de pinheiro-manso completamente diferenciadas da envolvência, em quatro lotes de terreno localizados junto à zona de estacionamento para veículos (Figura 14). Estas, naturalmente, são distinguidas na análise onde lhe é atribuído o fator de sequestro respetivo à espécie pinheiro-manso. Verifica-se que a capacidade de sequestro desta espécie é relativamente mais baixa que a das pastagens naturais, tal como refere Correia *et al.* (2008) no seu estudo. O fator das pastagens naturais encontra-se em 2,6 toneladas de carbono anuais por hectare, enquanto o fator da espécie pinheiro-manso situa-se em 1,5 toneladas de carbono anuais por hectare.



Figura 12 - Lago no Parque da Cidade inserido numa clareira de relva



Figura 13 - Clareira de relva com árvores circundantes

Dada a sua extensa área, o Parque da Cidade consegue sequestrar 415,7 toneladas de CO₂ por ano. As Hortas Pedagógicas possuem a área mais baixa de cobertura arbórea dos três parques urbanos em estudo com um sequestro total fixado em 157 toneladas de CO₂ por ano. A agricultura urbana das Hortas Pedagógicas é uma forma eficiente de sequestro de carbono, pois consegue compensar a baixa cobertura arbórea que se verifica. Por último, a Parque de Lazer da Colina Sagrada é responsável por sequestrar 134,6 toneladas de CO₂ anualmente. Os resultados desta investigação demonstram uma forte correlação entre a área disponível e o sequestro de carbono. Isto devido ao facto de aumentarem consoante a área disponível com capacidade de sequestro de carbono.

As três unidades avaliadas apresentam um sequestro de carbono global de 707,3 toneladas de CO₂ sequestrado por ano.



Figura 14 - Plantação de pinheiro-mansinho no Parque da Cidade

II. Purificação do ar - Indicador: Remoção de poluentes atmosféricos

De acordo com a metodologia descrita no capítulo 3, os resultados obtidos para o indicador remoção de poluentes atmosféricos são apresentados nas tabelas 27, 28 e 29:

Tabela 27 - Resultados obtidos para a remoção de poluentes atmosféricos no Parque de Lazer da Colina Sagrada

COLINA SAGRADA			
Poluente	Cobertura arbórea [g / m ² ano]	Cobertura herbácea [g / m ² ano]	Totais kg .ano
SO ₂	39050,5	13419,8	52,5
NO ₂	75142,6	33033,4	108,2
PM ₁₀	80763,5	23123,4	103,9
O ₃	90526,2	40052,9	130,6

Tabela 28 - Resultados obtidos para a remoção de poluentes atmosféricos nas Hortas Pedagógicas

HORTAS PEDAGÓGICAS			
Poluente	Cobertura arbórea [g / m ² ano]	Cobertura herbácea [g / m ² ano]	Totais kg .ano
SO ₂	20133,1	32962,3	53,1
NO ₂	38741,0	81137,9	119,9
PM ₁₀	41638,9	56796,5	98,4
O ₃	46672,2	98379,7	145,1

Tabela 29 - Resultados obtidos para a remoção de poluentes atmosféricos no Parque da Cidade

PARQUE DA CIDADE			
Poluente	Cobertura arbórea [g / m ² ano]	Cobertura herbácea [g / m ² ano]	Totais kg .ano
SO ₂	106046,9	78043,8	184,1
NO ₂	204059,9	192107,8	396,2
PM ₁₀	219324,2	134475,5	353,8
O ₃	245835,9	232930,7	478,8

O O₃ é o poluente mais afetado pela vegetação dos locais em estudo, apresentando um total de 754.5kg removidos por ano. Dada a vasta área vegetativa do Parque da Cidade, este consegue remover anualmente 1412.9kg dos poluentes investigados, enquanto as Hortas Pedagógicas removem 416.5kg anuais e a Parque de Lazer da Colina Sagrada 395.1kg anuais de poluentes atmosféricos. Os três espaços verdes juntos têm uma capacidade de remoção de poluentes atmosféricos de cerca de 2224.5kg por ano.

As árvores urbanas podem amenizar as mudanças globais de temperatura na atmosfera urbana e outras emissões químicas. Dada a sua proximidade com inúmeras fontes de emissões poluentes, o impacto delas nas alterações climáticas podem ser diretas (e.g., remoção de gases de efeito de estufa) ou indiretas (e.g., interceptando emissões próximas).

Os gases de efeito de estufa mais afetados pelas árvores urbanas são o CO₂, o O₃ troposférico e o SO₂. Devido à existência de fatores que afetam a remoção de poluição pelas árvores - incluindo a área de superfície foliar saudável, concentração de poluentes locais e a meteorologia local - os resultados obtidos transmitem a capacidade da vegetação em remover poluentes atmosféricos segundo as métricas utilizadas por Nowak *et al.* (2002) e Yang *et al.* (2008), nas cidades de Brooklyn e Chicago, respetivamente.

A cobertura arbórea é o meio mais eficaz na purificação atmosférica. No entanto, algumas árvores emitem compostos orgânicos voláteis (COVs), tais como o isopreno e monoterpenos. Estes compostos são produtos químicos naturais e estão presentes na composição de óleos essenciais, resinas e outros produtos vegetais que são úteis para atrair polinizadores ou repelir predadores. O isopreno ajuda a planta na proteção térmica, prevenindo danos irreversíveis nas folhas em altas temperaturas. Estas emissões variam conforme a espécie arbórea, a temperatura do ar e outros fatores ambientais (Nowak *et al.*, 2002). No entanto, os COVs podem contribuir para a formação

de O₃ e CO (Brasseur e Chatfield, 1991). Contudo em ambientes com baixas concentrações atmosféricas de óxido de nitrogénio (e.g., meio rural), os COVs conseguem remover o O₃. Como estas emissões são dependentes da temperatura e as árvores, de forma geral, arrefecem a temperaturas do ar, acredita-se que quanto maior for a cobertura de árvores, menor serão as emissões COVs. Consequentemente, os níveis de O₃ irão reduzir de forma significativa. Todavia, existem espécies com emissões baixas de COVs que podem ajudar a controlar as concentrações de O₃, como por exemplo: *Fraxinus spp.*, *Gleditsia spp.*, *Malus spp.*, *Prunus spp.*, *Pyrus spp.* e *Sorbus spp.* Outras espécies são consideradas grandes emissoras de COVs como são exemplo: *Liquidambar spp.*, *Eucalyptus spp.*, *Quercus spp.*, *Platanus spp.*, *Populus spp.*, *Rhamnus spp.*, e *Salix spp.* (Nowak e Crane 2002).

Nos locais em estudo foram identificadas espécies com emissões grandes e espécies com emissões baixas de COVs. Entre os três parques urbanos analisados, foi no Parque de Lazer da Colina Sagrada que se identificou o maior número de espécies consideradas grandes emissoras. Destacam-se a presença das espécies: *Quercus robur* (carvalho-roble), *Quercus rubra* (carvalho-americano), *Quercus coccinea* (carvalho-escalarte), *Quercus suber* (sobreiro), *Platanus orientalis* (plátano) e *Liquidambar styraciflua* (Liquidâmbar). Ainda no mesmo parque foram identificadas três espécies com baixas emissões: *Prunus persica* (pessegueiro), *Prunus serrulata* (cerejeira-do-Japão) e *Prunus laurocerasus* (loureiro-real).

Nas Hortas Pedagógicas, apenas uma espécie foi identificada como grande emissora de COVs: *Populus nigra* (choupo-negro). Duas espécies foram identificadas como baixas emissoras de COVs: *Fraxinus angustifolia* (freixo-comum) e *Malus domestica* (macieira).

No Parque da Cidade foram identificadas quatro espécies consideradas emissoras de COVs: *Acer pseudoplatanus* (plátano-bastardo), *quercus rubra* (carvalho americano), *quercus rober* (carvalho-roble) e *populus nigra* (choupo negro). Relativamente às espécies que apresentam baixas emissões, foram identificadas as seguintes: *Fraxinus angustifolia* (freixo-comum), *Prunus avium* (cerejeira-brava), *Prunus laurocerasus* (loureiro-real) e *Sorbus aucuparia* (tramazeira).

Programas convencionais de gestão de poluentes atmosféricos procuram atuar na fonte das emissões. Esta estratégia, efetivamente, reduz as emissões de novos poluentes, porém não resolve o facto de já existirem outros poluentes na atmosfera. Abordagens inovadoras procuram adotar medidas para remover poluentes já existentes e assim reduzir as suas concentrações até um certo nível. Uma forma de conseguir esse objetivo é usar vegetação urbana adequada, para reduzir a poluição do ar através de processos como a deposição seca e os efeitos microclimáticos. A vasta área superficial e a rugosidade respeitante aos ramos, galhos e folhagens tornam a vegetação um sumidouro de poluentes atmosféricos. A vegetação também proporciona efeitos indiretos na redução de poluição através da modificação microclimática. O efeito-sombra proporcionado pela vegetação ameniza a temperatura do ar e melhora a eficiência energética dos edifícios economizando no uso de eletricidade (Yang *et al.*, 2008).

III. Regulação da erosão e do fluxo de água - Indicador: % da área permeável em relação à superfície impermeável

Neste cálculo, é assumido que a diferença entre a área total dos parques e o somatório (Σ) da área dos vários elementos (permeáveis/impermeáveis) corresponde à área ocupada pelo coberto vegetal, lagos e caminhos pedonais.

Com base na tabela 30 e analisando de forma geral os espaços verdes avaliados, verifica-se que a percentagem de área permeabilizada é expressivamente superior à da área impermeável. Dos três parques urbanos, o Parque de Lazer da Colina Sagrada (83% de área permeável em relação a 17% de área impermeável) é o que apresenta a situação mais desfavorável quanto ao indicador em análise, devido ao conjunto histórico de equipamentos e algumas vias de acesso impermeáveis (Figura 15 e 16). O Parque da Cidade apresenta uma área permeável superior a 93% e a área impermeável das Hortas Pedagógicas corresponde quase à totalidade da área do parque (99.9%).

Tabela 30 - Cálculo do indicador % de área impermeável em relação à % de área permeável

Indicador: % da área impermeável em relação à % de área permeável (m ²)					
Descrição do indicador:	Representa a proporção (%) de área (expressa em m ²) impermeabilizada, resultante do somatório das áreas construídas (áreas edificadas, vias pedonais) em relação à proporção (%) de áreas permeáveis: coberto vegetal, recursos hídricos).				
Resultados:		Área (m ²)	Área (ha)	% da área impermeável em relação à % de área permeável	
	Colina sagrada	Área total	64713	6,47	100%
		∑ área permeável	53708,2	5,37	83,0%
		∑ área impermeável	11004,8	1,10	17,0%
	Hortas pedagógicas	Área total	74260,5	7,43	100%
		∑ área permeável	74191,5	7,42	99,9%
		∑ área impermeável	69,1	0,01	0,1%
	Parque da cidade	Área total	228725,6	22,87	100%
		∑ área permeável	212840,6	21,28	93,1%
		∑ área impermeável	15884,96	1,59	6,9%

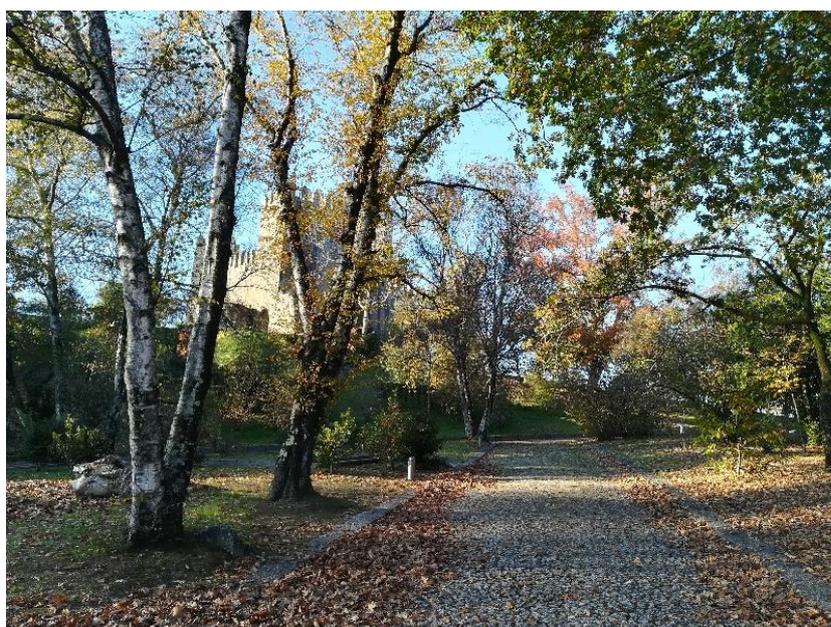


Figura 15 - Espaço verde do Parque de Lazer da Colina Sagrada (via pedonal com pavimento em pedra e o Castelo de Guimarães ao fundo)

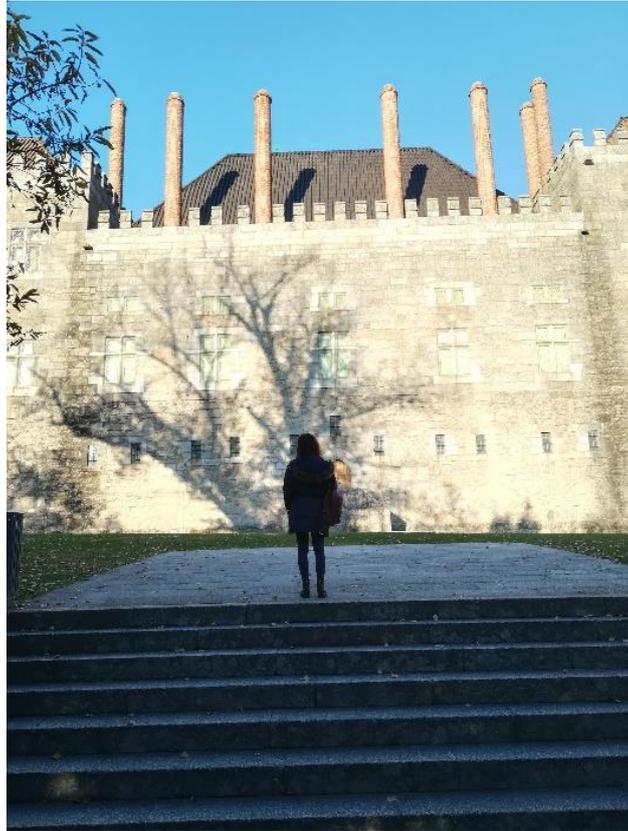


Figura 16 - Paço dos Duques com via de acesso totalmente impermeabilizada

Importa salientar que, o indicador percentagem de área impermeável em relação à superfície permeável pode também constituir um *proxy* do critério regulação da erosão do solo. Isto, na medida em que permite, através do uso e ocupação do solo, analisar/detetar quais são as áreas de maior risco de erosão do mesmo.

4.3.2. Serviços culturais

I. Área de serviço - Indicador: Área por habitante e Densidade Populacional

Conforme a metodologia supracitada para o cálculo dos indicadores - área por habitante e densidade populacional – tornou-se necessário recorrer às subsecções estatísticas (censos 2011) da população residente do concelho de Guimarães, de forma a aferir qual a população residente que intersecta com a área de serviço de 300 metros definida.

No SIG, a estimativa da população residente na área de serviço implicou elaborar um *buffer* de 300 metros relativamente aos espaços verdes em estudo. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 17 (já com as devidas intersecções executadas), traduzindo-se no resultado final da avaliação efetuada.

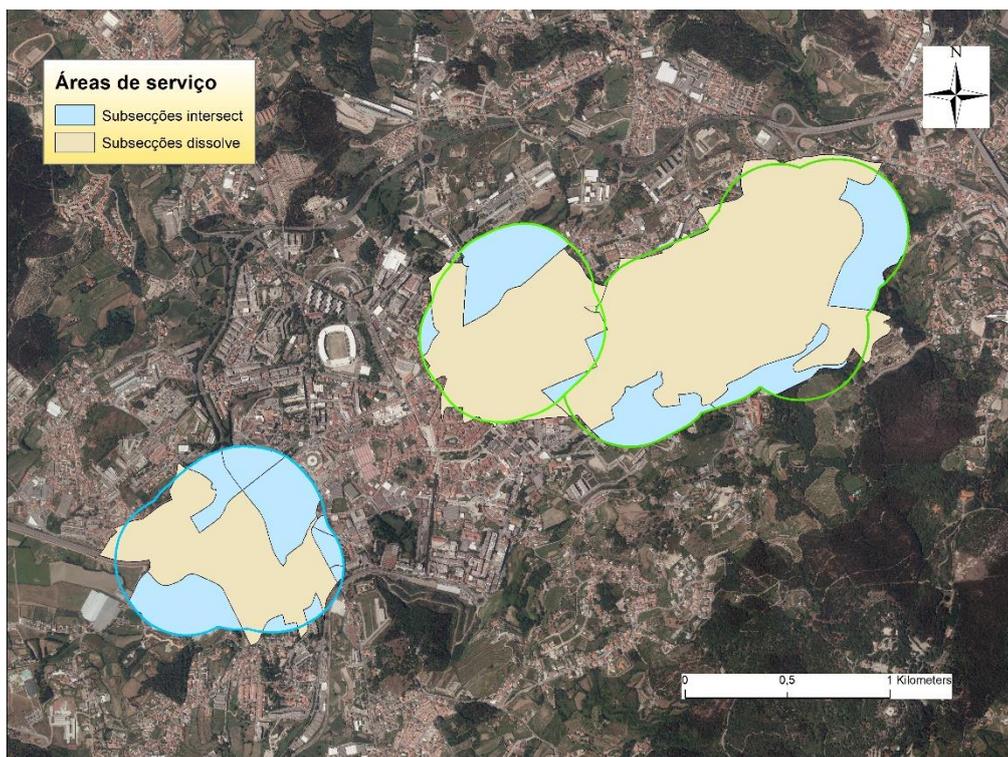


Figura 17- Resultado das intersecções das subsecções estatísticas com o buffer de 300 metros que determina a área de serviço de cada um dos espaços verdes

Importa referir que, cada área de serviço apresenta uma mancha principal que corresponde a um *dissolve* das subsecções que preenchem a maior parte da área do interior do *buffer*. As subsecções que se situam nas extremidades do *buffer* estão intersectadas de modo a averiguar a área abrangida, para posteriormente se estabelecer uma relação de proporção para a população residente.

Os passos efetuados para o estabelecimento da proporção para a população residente através da área intersectada encontram-se exemplificados na Tabela 31.

Tabela 31 - Exemplo da análise da população residente que intersesta com o buffer na área de serviço da Parque de Lazer da Colina Sagrada

Dissolve subsecções do interior do buffer	Subcções que intersectam com o buffer								Total	
	Sub.1	Área inter.	Sub.2	Área inter.	Sub.3	Área inter.	Sub.4	Área inter.		
Área km²	0,5	0,36	0,14	0,027	0,011	0,017	0,008	0,031	0,012	0,671
POPRESHM	1953	242	94,3	174	70,9	166	78,1	50	19,4	2215,6
POPPRESHM	2084	239	93,1	171	69,7	162	76,2	50	19,4	2342,3
Famílias	817	61	23,8	66	26,9	60	28,2	17	6,6	902,5
Alojamento	1090	88	34,3	76	31,0	80	37,6	28	10,8	1203,7
Edifícios	426	54	21,0	26	10,6	9	4,2	27	10,5	472,3
% de área intersectada			39%		40,74%		47,06%		38,71%	

Este é o exemplo realizado para o Parque de Lazer da Colina Sagrada, onde se estima a população residente, a população presente residente, as famílias, os alojamentos e os edifícios. Como se pode verificar, para cada subsecção foram estimados os dados estatísticos através do estabelecimento de uma relação de proporção com a percentagem de área intersectada. Após aplicar o processo anteriormente exemplificado às três áreas de serviço em avaliação, procedeu-se ao cálculo da informação estatística que pode ser observado na tabela 32.

Tabela 32 - Resultados da informação estatística analisada para as áreas de serviço

Área de serviço (300 m)			
Censos - subsecções (2011)	Colina Sagrada	Hortas pedagógicas	Parque da cidade
POPRESHM	2216	2243	5258
POPPRESHM	2342	2211	5146
Famílias	902	806	1914
Alojamentos	1204	1042	2368
Edifícios	472	258	562

Através da tabela de resultados, é possível observar-se que a área de serviço do Parque da Cidade corresponde ao maior número de população residente, famílias, alojamentos e edifícios. O local do Parque da Cidade é caracterizado pela existência de prédios destinados à habitação, afastando-se do núcleo urbano. O número de alojamentos é significativamente mais elevado que nas outras duas áreas de serviço avaliadas.

O Parque de Lazer da Colina Sagrada destaca-se por pertencer ao núcleo urbano, onde existe uma densidade de edifícios elevada. Contudo, o número de alojamentos não acompanha a tendência da área de serviço do Parque da Cidade, isto porque o edificado do centro histórico é antigo e as residências caracterizam-se por serem substancialmente unifamiliares.

As Hortas Pedagógicas estão localizadas numa área onde a percepção do campo e cidade se cruzam. Esse facto traduz-se no baixo número de edifícios e alojamentos.

Os resultados obtidos para a densidade populacional residente (POPRESHM) nas áreas de serviço são mais elevados no Parque da Cidade (3510 hab./km²), onde a área corresponde a 1,5 km². No entanto, a densidade populacional da área de serviço do Parque de Lazer da Colina Sagrada (0,66 km²) aproxima-se da área de serviço do Parque da Cidade, obtendo valores superiores para a população presente residente (POPPRESHM). Ainda, como se pode constatar, a área de serviço do Parque de Lazer da Colina Sagrada corresponde a menos de metade da área de serviço do Parque da Cidade (Tabela 33).

Tabela 33 - Resultados finais para a capacidade das áreas de serviço

Área de serviço (300 m)			
Censos - subsecções (2011)	Colina Sagrada	Hortas pedagógicas	Parque da cidade
Área do parque (m ²)	64713	74260,5	228725,6
Área do <i>buffer</i> = Área de serviço (km ²)	0,66	0,79	1,50
Densidade POPRESHM (nº/km ²)	3352	2840	3510
Densidade POPPRESHM (nº/km ²)	3544	2798	3436
Área por habitante POPRESHM (m ² /hab)	29,2	33,1	43,5
Área por habitante POPPRESHM (m ² /hab)	27,6	33,6	44,4

A densidade populacional das Hortas Pedagógicas é a mais baixa (2840 hab./km²) devido ao baixo número de alojamentos e, conseqüentemente, baixo de número de população a residir na área de serviço.

Quanto ao indicador área por habitante (m²/hab.), é considerada apenas a área dos parques em relação à população residente na área de serviço. Neste caso, o Parque da Cidade apresenta uma disponibilidade de 43,5 m² por habitante, seguindo-se as Hortas Pedagógicas com 33,1 m² por habitante e, por último, a Parque de Lazer da Colina Sagrada obtém a menor capacidade de m² por habitante (29,2).

Considera-se que as áreas de serviço estão bem capacitadas para a população residente que se encontra na proximidade dos espaços verdes urbanos, uma vez que é recomendado um dimensionamento de 10 m²/hab para espaços verdes públicos adjacentes a habitações (como equipamentos e atividades económicas, de utilização diária). Esta referência é de âmbito nacional, representando o espaço verde integrado no “contínuo construído” de carácter urbano (TELLES, 1997).

4.3.3. Serviços de suporte

- I. Diversidade genética e biológica – Indicador: Índice de Diversidade de Shannon
- II. Conetividade ecológica – Indicador: Índice de Complexidade

Com recurso ao *software Patch Analyst*, efetuaram-se cálculos de diversos índices ao nível da paisagem, com base na cartografia referida (ortofotomapas 2012), que serão apresentados seguidamente.

↪ Manchas

O número de manchas constitui um indicador de heterogeneidade da paisagem, correspondendo um maior número de manchas a uma maior heterogeneidade na paisagem (Vieira, 2009). Comparativamente, a área do Parque da Cidade é maior cerca de três vezes que a área dos outros dois parques. Desta forma, a paisagem é composta por um grande número de manchas ao nível das suas classes (420), enquanto o Parque de Lazer da Colina Sagrada (79) e as Hortas Pedagógicas (82) apresentam um número de manchas mais baixo.

A dimensão média da mancha permite-nos identificar o nível de fragmentação do habitat, estando diretamente relacionado com o número de manchas de uma paisagem ou com a dimensão total da mesma. Neste índice, o Parque da Cidade apresenta a dimensão média das manchas mais baixa dos três parques urbanos, o que indica uma maior homogeneização geral. Enquanto isto, o Parque de Lazer da Colina Sagrada e as Hortas Pedagógicas apresentam dimensões médias mais elevadas. De modo a aferir a variação da dimensão das manchas, calculámos o desvio padrão da dimensão média das manchas. Constatou-se a maior variação no Parque da Cidade, refletindo-se uma elevada heterogeneidade na dimensão das diversas manchas que a constituem. O resultado mais baixo deste indicador, quer nas Hortas Pedagógicas quer no Parque de Lazer da Colina Sagrada, reflete a presença de classes com maior homogeneidade ao nível das manchas (Tabela 34).

Tabela 34 - Resultados dos índices de mancha

Índices da Paisagem	Colina Sagrada	Hortas Pedagógicas	Parque da Cidade
Número de manchas	79	82	420
Densidade de manchas (nº/área)	12,21	11,04	18,36
Dimensão média das manchas (ha)	0,08	0,09	0,05
Desvio padrão da dimensão média das manchas (ha)	0,16	0,18	0,29
Total de margens (m)	12282,82	15173,12	44861,57
Densidade de margens (m/ha)	1898,04	2043,23	1961,37
Dimensão média da margem por mancha (m)	155,48	185,04	106,81
Área total (ha)	6,47	7,43	22,87

O cálculo da quantidade total de margens é outro indicador importante, uma vez que as margens correspondem a áreas de interface entre manchas, influenciando as dinâmicas na paisagem. Por outro lado, quanto maior for o total das margens, maior também é a fragmentação da paisagem.

Decorrente deste índice, calculámos a densidade das margens (em m/ha), que relaciona as margens totais com a área da paisagem e que permite identificar o grau de fragmentação da paisagem, uma vez que quanto mais margens apresentar maior será a fragmentação na mesma. Apesar do total de margens ser mais elevado no Parque da Cidade, a densidade de margens é superior nas Hortas Pedagógicas, denunciando uma elevada complexidade das suas formas. O Parque de Lazer da Colina Sagrada obteve o resultado mais baixo, traduzindo-se numa menor complexidade das formas que constituem a paisagem. Os resultados obtidos na dimensão média da margem por mancha comprova uma maior proliferação de pequenas manchas individualizadas no Parque da Cidade (apresentando o valor de 106,81 metros), seguido do Parque de Lazer da Colina Sagrada (com um valor de 155,48 metros) e por último nas Hortas Pedagógicas (com um valor de 185,04 metros).

→ Índice de complexidade

Para a avaliação do índice de complexidade, recorreu-se ao cálculo do indicador médio de forma que é obtido a partir da soma do perímetro das amostras dividido pela raiz quadrada da área das manchas (ha). Este índice calcula a complexidade da forma das manchas ao nível da paisagem e em função de uma forma básica circular (dado que estamos a trabalhar com o formato de dados vetorial). O mínimo de complexidade é representado valor 1, e vai aumentado com o aumento da complexidade da mancha. Verifica-se que nas Hortas Pedagógicas e no Parque de Lazer da Colina Sagrada os valores se distanciam da forma ideal, revelando uma paisagem com elevada complexidade. O Parque da Cidade apresenta uma menor complexidade ao nível das manchas das três áreas em estudo (Tabela 35).

Tabela 35- Resultados do índice de complexidade

Índice de complexidade	Colina Sagrada	Hortas Pedagógicas	Parque da Cidade
Índice médio de forma	1,94	1,97	1,59

– Índice de biodiversidade

O índice de diversidade de *Shannon* permite «quantificar a composição da paisagem através da sua diversidade. (...) O índice é influenciado por duas componentes: riqueza (número de classes de manchas presente), associada à componente estrutural da diversidade. O índice é igual a 0 (zero) quando a paisagem só contém uma classe de manchas, aumentando consoante aumenta o número de classes, conforme a distribuição de área pelas várias classes se torna mais equitativa ou quando ambas aumentam» (Casimiro, 2002, p.458).

Os resultados obtidos indicam-nos que a paisagem com maior diversidade é a do Parque de Lazer da Colina Sagrada, enquanto as paisagens das Hortas Pedagógicas e do Parque da Cidade possuem características de diversidade mais baixas ao nível da distribuição de área pelas várias classes de manchas. O baixo índice verificado no Parque da cidade revela que a distribuição das classes de manchas pela área não se reproduz de forma equitativa (Tabela 36).

Tabela 36 - Resultados do índice de diversidade

Índice de diversidade	Colina Sagrada	Hortas Pedagógicas	Parque da Cidade
Índice de diversidade de Shannon	1,30	1,26	1,12

III. Disponibilidade de Habitat – Indicador: Área total do espaço verde

Dentro dos três parques urbanos em estudo, o Parque da Cidade é o que proporciona maior habitat para espécies e maior espaço para a realização de atividades recreativas. O Parque de Lazer da Colina Sagrada apresenta a disponibilidade de habitat mais baixa, porém apresenta uma perfeita integração com a envolvente e com o património edificado. O facto de este parque estar localizado muito perto do núcleo urbano, faz com que a utilização deste pelos habitantes da cidade seja essencialmente praticado como local de passagem. Para além desses utilizadores, a sua utilização por turistas é efetivamente acentuada devido ao património material aqui presente. As hortas pedagógicas estão localizadas na freguesia de Creixomil e apresentam uma área de 7,43 ha por onde se estende a agricultura urbana e é frequentado essencialmente pelos arrendatários das hortas urbanas.

O espaço verde urbano da Serra da Penha aparece por motivos meramente comparativos para com os parques verdes em estudo. A disponibilidade de habitat da Serra da Penha serviu de valor de referência para o modelo de avaliação abordado (Tabela 37).

Tabela 37 - Disponibilidade de habitat (ha)

Disponibilidade de habitat (ha)	
Colina Sagrada	6,47
Hortas Pedagógicas	7,43
Parque da cidade	22,87
Serra da Penha	44,91

4.3.4. Serviços de produção

Os resultados obtidos para os serviços de produção investigados são apresentados abaixo, na tabela 38. A presença da agricultura urbana apenas se verifica nas Hortas Pedagógicas, estendendo-se numa área de 34656,4 m².

Quanto à cobertura de árvores de fruto, e tal como referido na metodologia, estes resultados foram obtidos essencialmente através da observação, onde se estima que a percentagem de copas de árvores de fruto cobre cerca de 15% da área de cobertura arbórea total de cada um dos parques. Através deste método, os valores mais elevados são obtidos nas coberturas arbóreas com maior extensão.

A densidade de animais é um indicador que permite integrar a produção animal na classificação de serviços ecossistémicos para espaços verdes urbanos. Neste caso de estudo, a representatividade de animais quase não se verifica, tendo sido apenas contabilizados 20 animais de gado de bico (galinhas e patos) no Parque da Cidade (Figura 18) e nenhum tipo de gado nas Hortas Pedagógicas e no Parque de Lazer da Colina Sagrada. Por não afetar os resultados da classificação final, o indicador densidade de animais não será integrado na avaliação.

Tabela 38 - Resultados dos serviços de produção

Serviços de produção	Culturas de regadio (m ²)	Cobertura árvores de fruto (m ²)	Densidade de animais (nº/área)
Colina Sagrada	0	4437,6	0
Hortas Pedagógicas	34656,4	2287,9	0
Parque da Cidade	0	11959,8	8,74393E-05



Figura 18 - Animais de gado de bico no Parque da Cidade

4.4. Desempenho global das áreas em estudo

De acordo com a metodologia descrita no capítulo três, o desempenho dos serviços ecossistêmicos nas áreas em estudo é obtido através da equação 1. Os resultados são apresentados no mapa de desempenho dos indicadores (Tabela 39), consagrando o modelo de avaliação (CSEEV). Importa referir que não foi aplicada nenhuma ponderação nos indicadores, para que o desempenho final refletisse a agregação de todos os indicadores analisados. Dos três parques urbanos avaliados, é no Parque da Cidade que se verifica maior intensidade de serviços ecossistêmicos, mesmo obtendo valores nulos para a produção de alimentos. Isto deve-se à configuração física do parque, pois a sua extensão conjugada com a grande cobertura arbórea e herbácea faz deste parque um forte instigador de processos ecológicos. As Hortas Pedagógicas e o Parque de Lazer da Colina Sagrada apresentam um desempenho final abaixo dos 50%. Ainda assim, estes podem ser considerados como espaços verdes urbanos secundários dentro do perímetro urbano, quando comparados ao Parque da Cidade que é o principal impulsionador de serviços de regulação, suporte e culturais. A proeminência da agricultura urbana nas Hortas Pedagógicas em detrimento de outro tipo de cobertura vegetativa (arbórea e herbácea) não compromete o desempenho dos serviços reguladores, ao mesmo tempo que potencia os serviços de produção. No que diz respeito ao Parque de Lazer da Colina Sagrada, considera-se que se encontra muito bem integrado com a envolvente, já que este se localiza muito perto núcleo urbano da cidade de Guimarães, apresentando bons desempenhos de serviços ecossistêmicos.

Tabela 39 - Desempenho global das áreas em estudo

Mapa de desempenho dos indicadores (%)			
Serviços ecossistêmicos	Colina Sagrada	Hortas Pedagógicas	Parque da cidade
Sequestro de CO ₂	53,5	55,9	48,2
Remoção de poluentes atmosféricos	63	57,6	63,6
Regulação da erosão e da água	83,0	99,9	93,1
Desempenho serviços reguladores	66,5	71,3	68,3
Área por habitante	67	76	100
Densidade populacional	95	81	100
Desempenho serviços culturais	81	78,5	100
Diversidade genética e biológica	30	26	12
Conectividade ecológica	6	4	41
Disponibilidade de habitat	14,4	17	51
Desempenho serviços de suporte	16,8	15,7	34,7
Produção de alimentos	0	46,7	0
Produção de frutos	6,9	3,1	5,2
Desempenho serviços de produção	6,9	24,9	5,2
Desempenho final	41,9	46,7	51,4

5. Conclusões

Os bens e serviços que provêm, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas traduzem-se em benefícios para os seres humanos. Estes têm um papel essencial na harmonização do espaço urbano, sendo considerados fundamentais para o bom funcionamento habitacional das cidades. Para além de facultarem espaço para a realização de atividades recreativas, também contribuem para o embelezamento urbano e para a preservação da biodiversidade. Outro dos seus benefícios passa pela ajuda que prestam na melhoria da qualidade ambiental, oferecendo soluções naturais para o tratamento de resíduos. Esta investigação enumerou um conjunto de serviços ecossistémicos para as funções desempenhadas pelos espaços verdes urbanos nas categorias definidas pelo *Millenium Ecosystem Assesment* (regulação, produção, suporte e cultural) e apresentou uma metodologia de investigação com o intuito de quantificar esses mesmos.

É importante referir que foram considerados não só os serviços ecossistémicos diretamente disponibilizados pelas áreas em estudo (e.g., produção de alimentos, regulação climática, purificação do ar, regulação da erosão, diversidade, conetividade, disponibilidade de habitat e áreas de serviço dos espaços verdes urbanos), como também a presença de condições primárias necessárias à disponibilização desses mesmos bens e serviços (e.g., constituição física dos espaços verdes). Por sua vez, a cada serviço desempenhado pelos espaços verdes associou-se um ou mais indicadores que permite identificar e quantificar a disponibilidade dos serviços num determinado espaço verde urbano.

A presente dissertação apresenta uma definição das funções e serviços ecossistémicos, sendo que os serviços (provisão de alimentos, água, saúde, segurança e lazer) são dependentes das funções que são constituídas pelas constantes interações entre os elementos estruturais dos ecossistemas (fatores bióticos e abióticos). Porém, este trabalho centrou-se nos ecossistemas urbanos onde a interligação entre a sociedade e o ambiente construído com os sistemas ecológicos que ocorrem à escala da cidade foi o foco principal. Desta forma, a recolha e seleção de indicadores realizou-se de acordo com as especificidades das áreas para que fosse possível testar a operacionalidade da metodologia desenvolvida. A escolha de três parques urbanos distintos foi pertinente para comparar o desempenho global dos serviços ecossistémicos após a aplicação do modelo de classificação de serviços ecossistémicos para espaços verdes (CSEEV).

O sistema de informação geográfica empregue para elaborar a análise permitiu estabelecer as bases científicas em torno do mapeamento de serviços ecossistémicos à escala da cidade. Esta mais-valia obtido ao longo de todo o processo de desenvolvimento da presente dissertação permite apoiar as tomadas de decisão no planeamento e informar de que forma os problemas ambientais e sociais decorrentes dos processos de urbanização podem ser compensados. Ainda, os métodos e ferramentas para classificar e valorizar os serviços ecossistémicos podem ser úteis no reajuste dos orçamentos municipais, orientando o planeamento do uso da terra.

A identificação de elementos chave (tipo de vegetação, presença de água, equipamentos, etc.) nas áreas em estudo foi fundamental para caracterizá-las de acordo com as suas capacidades de prestação de serviços. Esta caracterização ocorreu com base no uso de cartografia do território (ortofotomapas 2012), aliado às ferramentas de informação geográfica (ArcGIS) e levantamentos de campo pontuais. Assim, foi possível delimitar os limites físicos das áreas estudadas, de forma a obter a área total do espaço verde a investigar e estimar a composição do solo nos seguintes parâmetros: cobertura arbórea, cobertura herbácea, agricultura urbana, caminhos pedonais, equipamentos, infraestruturas de apoio, rios ou lagos.

Com a elaboração do mapa base com as composições do solo, foi possível aplicar os indicadores selecionados para classificar os serviços ecossistémicos em espaços verdes. Contudo, para que os resultados fossem os mais concretos possíveis, foi determinante efetuar algumas considerações. Isto porque, em alguns casos, o cálculo de indicadores decorre de acordo com estimativas bibliográficas.

No caso do serviço regulador correspondente ao sequestro de carbono utilizou-se valores de PLE com potencial de sequestro de CO₂ localizados em Portugal Continental, limitando erros significativos. Para a remoção de poluentes atmosféricos, as métricas utilizadas foram adaptadas de acordo com a literatura internacional. Como é constatado na metodologia supracitada, a bibliografia em alguns casos sugere valores de remoção mais elevados para a cobertura arbórea do que para a cobertura herbácea. Este obstáculo na quantificação do serviço regulador “purificação atmosférica” foi alvo de acertos através de relações de proporção entre valores estabelecidos.

Para os serviços recreativos – áreas de serviço dos espaços verdes – os valores de população residente também foram alvo de estimativas. Conforme pode ser constatado na metodologia, as considerações efetuadas limitam erros significativos e alcançam resultados próximos da realidade de acordo com o período dos dados censitários.

Nos indicadores de suporte – diversidade genética e biológica e conectividade ecológica - a integração do *software Patch Analyst* foi uma experiência inovadora no âmbito de espaços verdes urbanos. Este *software* tem como principais vantagens possibilitar análise de conjuntos de dados em formato vetorial e no facto de ser perfeitamente integrável no software ArcGIS, sendo que a utilização deste foi uma constante ao longo do presente trabalho, facilitando, desta forma, o tratamento dos dados. As principais conclusões retiradas da análise efetuada com o *Patch Analyst* consistem na compreensão das dinâmicas da paisagem ao nível das manchas, como por exemplo, a influência que tem a forma, a distribuição e a configuração espacial das manchas nos resultados.

Os indicadores de produção foram alvo de técnicas de quantificação em função da área ocupada por lotes respeitantes a hortas comunitárias urbanas em relação à área total do parque. Assim como no cálculo do indicador regulação da erosão e da água, foi assumido que a diferença entre a área total dos parques e o somatório da área dos vários elementos (permeáveis/impermeáveis) corresponde à área ocupada pelo coberto vegetal, lagos e caminhos pedonais.

A quantificação de serviços ecossistémicos produzidos pelas áreas verdes, através do cálculo de indicadores e a normalização dos valores alcançados permite integrar todos os indicadores numa classificação final. Deste modo, o modelo de avaliação desenvolvido classifica os serviços ecossistémicos e agrega os resultados em escalas homogéneas (0 a 100). Os resultados que advêm da aplicação do modelo de avaliação (CSEEV) são transmitidos em rácios de desempenho quanto à prestação dos diferentes tipos de serviços prestados pelos espaços verdes. Contudo, caso seja necessário, podem ser atribuídas ponderações a determinadas funções, focando ou diminuindo a influência de alguns atributos na escala de avaliação. Nesta investigação não se recorreu a qualquer ponderação, para que o desempenho refletisse a agregação de todos os indicadores analisados.

Integrando os princípios do desenvolvimento sustentável, reunindo e equilibrando os múltiplos benefícios associados às áreas verdes urbanas, estas abordagens conceptuais encontram-se presentes nas atuais agendas de investigação. O planeamento da infra-estrutura verde urbana deve ser orientado de modo a criar sinergias entre os serviços ecossistémicos de modo a ampliar os seus benefícios.

Contudo, existem alguns desafios na gestão dos ecossistemas, principalmente na determinação de como gerir os múltiplos serviços ecossistêmicos nas paisagens. Quando se dá um aumento na produção de um serviço de ecossistema, tais como os alimentos e madeira, quase sempre conduz ao declínio de outros serviços de ecossistema, incluindo serviços reguladores e culturais como a ciclagem de nutrientes, proteção contra inundações e oportunidades de recreação. O *Millennium Ecosystem Assessment* (MEA), a principal avaliação internacional de serviços dos ecossistemas conclui que enfrentar esse desafio implica identificar os vários “*trade-offs*” e sinergias existentes nos serviços ecossistêmicos a diferentes escalas. O MEA sugere que sejam considerados e geridos todas as interações ecológicas que ocorrem transversalmente nos serviços ecossistêmicos para que sejam capazes de produzir melhores resultados para as sociedades. Os “*trade-offs*” e as sinergias podem ser geridas de forma a reduzir o custo associado às necessidades humanas, melhorando a multifuncionalidade da paisagem e o bem-estar humano.

6. Desenvolvimentos futuros

Em trabalhos futuros seria interessante a integração de um maior número indicadores de modo a compreender e valorizar todos os serviços ecossistêmicos que ocorrem em determinado local. Contudo, para concretizar com máximo rigor a quantificação de serviços ecossistêmicos urbanos seria pertinente obter estimativas mais precisas quanto às capacidades reguladoras dos ecossistemas locais. Isto porque, a influência das árvores na afetação do clima local, na redução do ruído e na purificação atmosférica varia de acordo com o tipo de espécie e com as suas características físicas (idade, altura, diâmetro e densidade de árvores).

Devem ser valorizados os benefícios e os beneficiários, integrando os serviços dos ecossistemas em três grupos de valores – culturais, ecológicos e económicos – que sirvam de base para processos de tomada de decisão. Adicionalmente, o desenvolvimento de mecanismos de quantificação de serviços ecossistêmicos deverão ser orientados para avaliar a influência que ocorre na presença e/ou ausência de espaços verdes urbanos. Do mesmo modo, os processos de comunicação sobre os seus múltiplos benefícios deverão ser fomentados de modo a transmitir às sociedades a relevância do princípio da multifuncionalidade das infraestruturas verdes urbanas.

Referências bibliográficas

- AgroForestry. (2007). "Trees As Noise Buffers". Retrieved 16/01/2018, from <http://www.agroforestry.net/the-overstory/77-overstory-193-trees-as-noise-buffers>.
- Altieri, M. A., N. Companioni, K. Cañizares, C. Murphy, P. Rosset, M. Bourque and C. I. Nicholls (1999). "The greening of the "barrios": Urban agriculture for food security in Cuba." *Agriculture and Human Values* 16(2): 131-140.
- Alves, T. D. M. (2009). A estrutura ecológica urbana no modelo da rede estruturante da cidade, Universidade de Aveiro.
- Anderson, L. (1984). "Effects of vegetation on human response to sound." *Journal of Arboriculture* 10(2): 45-49.
- Andersson, E., S. Barthel and K. Ahrné (2007). "Measuring social–ecological dynamics behind the generation of ecosystem services." *Ecological applications* 17(5): 1267-1278.
- Andrade, D. C. and A. R. Romeiro (2009). "Serviços ecossistêmicos e sua importância para o sistema econômico e o bem-estar humano." Instituto de Economia–Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), SP: Texto para Discussão 155.
- Assessment, M. E. (2003). "Millennium Ecosystem Assessment (MA): Strengthening Capacity to Manage Ecosystems Sustainably for Human Well-Being." World Resources Institute.
- Ausubel, J. H. (1996). "Can technology spare the Earth?" *American Scientist* 84(2): 166.
- Aylor, D. (1972). "Noise reduction by vegetation and ground." *The Journal of the Acoustical Society of America* 51(1B): 197-205.
- Barnosky, A. D., N. Matzke, S. Tomiya, G. O. Wogan, B. Swartz, T. B. Quental, C. Marshall, J. L. McGuire, E. L. Lindsey and K. C. Maguire (2011). "Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?" *Nature* 471(7336): 51.
- Barthel, S., C. Folke and J. Colding (2010). "Social–ecological memory in urban gardens—Retaining the capacity for management of ecosystem services." *Global Environmental Change* 20(2): 255-265.
- Benedict, M. A. and E. T. McMahon (2002). "Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century." *Renewable resources journal* 20(3): 12-17.
- Bixler, R. D. and M. F. Floyd (1997). "Nature is scary, disgusting, and uncomfortable." *Environment and behavior* 29(4): 443-467.
- Blair, R. B. (1996). "Land use and avian species diversity along an urban gradient." *Ecological applications* 6(2): 506-519.
- Blair, R. B. and A. E. Launer (1997). "Butterfly diversity and human land use: Species assemblages along an urban gradient." *Biological conservation* 80(1): 113-125.
- Bolund, P. and S. Hunhammar (1999). "Ecosystem services in urban areas." *Ecological economics* 29(2): 293-301.
- Bowler, D. E., L. M. Buyung-Ali, T. M. Knight and A. S. Pullin (2010). "A systematic review of evidence for the added benefits to health of exposure to natural environments." *BMC public health* 10(1): 456.

- Brasseur, G. P. and R. B. Chatfield (1991). The fate of biogenic trace gases in the atmosphere. Trace gas emissions by plants, Elsevier: 1-27.
- Carvalho, A. M., A. Gonçalves, A. Suarez, C. Miranda, G. de Imprensa, J. Cameira, I. Ferreira, J. M. Morais, M. Veloso and S. Fernandes (2008). Espaços verdes de Bragança, Câmara Municipal de Bragança.
- Carvalho, J. (2009). "A árvore no Espaço Urbano." CITAB-Centro de Investigação e de Tecnologias Agro-Ambientais e Biológicas.
- Casimiro, P. J. C. C. (2002). Uso do solo, teledetecção e estrutura da paisagem. Ensaio metodológico-Concelho de Mértola, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.
- Chan, K. M., T. Satterfield and J. Goldstein (2012). "Rethinking ecosystem services to better address and navigate cultural values." *Ecological economics* 74: 8-18.
- Chaparro, L. and J. Terradas (2009). "Ecological services of urban forest in Barcelona." Institut Municipal de Parcs i Jardins Ajuntament de Barcelona, Àrea de Medi Ambient.
- Chiesura, A. (2004). "The role of urban parks for the sustainable city." *Landscape and urban planning* 68(1): 129-138.
- Commission, E. (2015). "Ecosystem Services and Biodiversity."
- Commission, F. (2008). Mitigation: Planting more trees.
- Correia, A., M. Evangelista, P. Ochoa and J. Santos Pereira (2008). O sequestro de carbono em ecossistemas de pinhal manso no sul de portugal. Congresso Nacional sobre Alterações Climáticas, Lisboa.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. De Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. V. O'Neill and J. Paruelo (1997). "The value of the world's ecosystem services and natural capital." *nature* 387(6630): 253.
- Costanza, R., R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, J. Paruelo, R. Raskin and P. Sutton (1998). "The value of the world's ecosystem services and natural capital." *Ecological economics* 25(1): 3-15.
- Costanza, R., R. de Groot, P. Sutton, S. van der Ploeg, S. J. Anderson, I. Kubiszewski, S. Farber and R. K. Turner (2014). "Changes in the global value of ecosystem services." *Global environmental change* 26: 152-158.
- Costanza, R., W. J. Mitsch and J. W. Day (2006). "A new vision for New Orleans and the Mississippi delta: applying ecological economics and ecological engineering." *Frontiers in Ecology and the Environment* 4(9): 465-472.
- Cousins, P. (2009). "Economic contribution of green networks: current evidence and action." North West Development Agency.
- Daily, G. (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*, Island Press.
- D'amato, G. (2000). "Urban air pollution and plant-derived respiratory allergy." *Clinical and Experimental Allergy* 30(5): 628-636.
- Danielsen, F., M. K. Sørensen, M. F. Olwig, V. Selvam, F. Parish, N. D. Burgess, T. Hiraishi, V. M. Karunakaran, M. S. Rasmussen and L. B. Hansen (2005). "The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation." *Science* 310(5748): 643-643.

- De Groot, R. (2006). "Function-analysis and valuation as a tool to assess land use conflicts in planning for sustainable, multi-functional landscapes." *Landscape and urban planning* 75(3): 175-186.
- De Groot, R. S., R. Alkemade, L. Braat, L. Hein and L. Willemsen (2010). "Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making." *Ecological complexity* 7(3): 260-272.
- De Groot, R. S., M. A. Wilson and R. M. Boumans (2002). "A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services." *Ecological economics* 41(3): 393-408.
- de Sá, J. F. F. (2013). "Espaços verdes em meio urbano: uma abordagem metodológica com base em serviços de ecossistema."
- Dobbs, C., F. J. Escobedo and W. C. Zipperer (2011). "A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators." *Landscape and urban planning* 99(3-4): 196-206.
- Dye, C. (2008). "Health and urban living." *Science* 319(5864): 766-769.
- EEA, E. E. A. (2011). "Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems." European Environment Agency, Copenhagen, Denmark.[online] URL: <http://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion>.
- Elmqvist, T., H. Setälä, S. Handel, S. Van Der Ploeg, J. Aronson, J. N. Blignaut, E. Gomez-Baggethun, D. Nowak, J. Kronenberg and R. De Groot (2015). "Benefits of restoring ecosystem services in urban areas." *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14: 101-108.
- Europeia, C. (2011). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social e ao Comité das Regiões - Our life insurance, our capital: an EU biodiversity strategy to 2020. Bruxelas: Comissão Europeia.
- Fadigas, L. d. S. (1993). "A natureza na Cidade. Uma perspectiva para a sua integração no tecido urbano."
- Fang, C.-F. and D.-L. Ling (2003). "Investigation of the noise reduction provided by tree belts." *Landscape and urban planning* 63(4): 187-195.
- Figueiredo, R. M. (2014). "Áreas de influência de espaços verdes urbanos de proximidade: uma abordagem exploratória na freguesia de Arroios."
- Fisher, B. and R. K. Turner (2008). "Ecosystem services: classification for valuation." *Biological conservation* 141(5): 1167-1169.
- Fisher, B., R. K. Turner and P. Morling (2009). "Defining and classifying ecosystem services for decision making." *Ecological economics* 68(3): 643-653.
- Fonseca, F., A. Gonçalves and O. Rodrigues (2010). "Comportamentos e percepções sobre os espaços verdes da cidade de Bragança." *Finisterra*: 119-139.
- FORMAN, R. G., Michel (1986). *Landscape ecology*. New York.
- Forster, R. (1973). *Planning for man and nature in national parks: reconciling perpetuation and us*. IUCN publications new series, IUCN. 26.
- França, J. A. (2005). *Lisboa: Urbanismo e Arquitectura*. Lisboa: Livros Horizonte.

- Geron, C. D., A. B. Guenther and T. E. Pierce (1994). "An improved model for estimating emissions of volatile organic compounds from forests in the eastern United States." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 99(D6): 12773-12791.
- Gómez-Baggethun, E. and D. N. Barton (2013). "Classifying and valuing ecosystem services for urban planning." *Ecological Economics* 86: 235-245.
- Grêt-Regamay, A. and U. Wissen Hayek (2012). Multi-criteria decision analysis for planning and design of sustainable energy landscapes.
- Grêt-Regamey, A., E. Celio, T. M. Klein and U. W. Hayek (2013). "Understanding ecosystem services trade-offs with interactive procedural modeling for sustainable urban planning." *Landscape and Urban Planning* 109(1): 107-116.
- Guimarães Turismo, Guimarães – Parques de lazer e jardins. Disponível em https://www.guimaraesturismo.com/uploads/document/file/1317/parques_net.pdf. Acedido em 25/02/2018.
- Grimm, N. B., D. Foster, P. Groffman, J. M. Grove, C. S. Hopkinson, K. J. Nadelhoffer, D. E. Pataki and D. P. Peters (2008). "The changing landscape: ecosystem responses to urbanization and pollution across climatic and societal gradients." *Frontiers in Ecology and the Environment* 6(5): 264-272.
- Hardin, P. J. and R. R. Jensen (2007). "The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: a Terre Haute case study." *Urban Forestry & Urban Greening* 6(2): 63-72.
- Herrington, L. (1976). "Effect of vegetation on the propagation of noise in the out-of-doors." USDA Forest Service General Technical Report, US Rocky Mountain Forest Range Experimental Station 25: 229-233.
- Higgins, S. I., J. K. Turpie, R. Costanza, R. M. Cowling, D. C. Le Maitre, C. Marais and G. F. Midgley (1997). "An ecological economic simulation model of mountain fynbos ecosystems: dynamics, valuation and management." *Ecological Economics* 22(2): 155-169.
- Houghton, R. A. (1994). "The worldwide extent of land-use change." *BioScience* 44(5): 305-313.
- Howard, E. (2002). *Cidades-jardins de amanhã*, Annablume.
- Ishii, M. (1994). Measurement of road traffic noise reduced by the employment of low physical barriers and potted vegetation. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, Institute of Noise Control Engineering.
- Jim, C. and W. Y. Chen (2006). "Impacts of urban environmental elements on residential housing prices in Guangzhou (China)." *Landscape and Urban Planning* 78(4): 422-434.
- Jorgensen, A. and A. Anthopoulou (2007). "Enjoyment and fear in urban woodlands—Does age make a difference?" *Urban Forestry & Urban Greening* 6(4): 267-278.
- Kabisch, N. and D. Haase (2013). "Green spaces of European cities revisited for 1990–2006." *Landscape and Urban Planning* 110: 113-122.
- Karathanasis, A., C. Potter and M. Coyne (2003). "Vegetation effects on fecal bacteria, BOD, and suspended solid removal in constructed wetlands treating domestic wastewater." *Ecological engineering* 20(2): 157-169.
- Kragh, J. (1981). "Road traffic noise attenuation by belts of trees." *Journal of Sound and Vibration* 74(2): 235-241.

- Kull, C. A., X. A. de Sartre and M. Castro-Larrañaga (2015). "The political ecology of ecosystem services." *Geoforum* 61: 122-134.
- Lachowycz, K. and A. P. Jones (2013). "Towards a better understanding of the relationship between greenspace and health: development of a theoretical framework." *Landscape and Urban Planning* 118: 62-69.
- Larondelle, N. and D. Haase (2012). "Valuing post-mining landscapes using an ecosystem services approach—An example from Germany." *Ecological Indicators* 18: 567-574.
- Lyytimäki, J., L. K. Petersen, B. Normander and P. Bezák (2008). "Nature as a nuisance? Ecosystem services and disservices to urban lifestyle." *Environmental sciences* 5(3): 161-172.
- Lyytimäki, J. and M. Sipilä (2009). "Hopping on one leg—The challenge of ecosystem disservices for urban green management." *Urban Forestry & Urban Greening* 8(4): 309-315.
- Madureira, H. (2008). "A infra-estrutura verde da Bacia do Leça. Uma estratégia para o desenvolvimento sustentável na região metropolitana do Porto."
- Madureira, H. (2012). "Infra-estrutura verde na paisagem urbana contemporânea: o desafio da conectividade e a oportunidade da multifuncionalidade." *Geografia: Revista da Faculdade de Letras da Universidade do Porto*(1).
- Madureira, H. (2016). "Promover os serviços ecossistémicos urbanos com infraestruturas verdes promoting urBan ecosYstem services With green infratructureses." *Geografia, paisagem e riscos: livro de homenagem ao Prof. Doutor António Pedrosa*: 141.
- Maes, J., Teller A., Erhard M., Liqueste C., Braat L., Berry P., Egoh B., Puydarrieux P., Fiorina C., Santos F., Paracchino M.L., Keune H., Wittmer H., Hauck J., et al. (2013) "Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services. An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020."
- Maes, J., Fabrega, N., Zulian, G., Barbosa, A., Vizcaino, P., Ivits, E., Polce, C., Vandecasteele, I., Rivero, I., Guerra, C., Castillo, P., Vallecillo, S., Baranzelli, C., Barranco, R., Batista, S., Jacobs-Crisoni, C., Trombetti, M., Lavalle, C. (2015). Mapping and assessment of ecosystems and their services: Trends in ecosystems and ecosystem services in the European Union between 2000 and 2010. I. f. E. a. Sustainability. Joint Research Centre, European Commission.
- Maes, J., M. L. Paracchini and G. Zulian (2011). "A European assessment of the provision of ecosystem services." JRC Scientific and Technical Reports. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Magalhães, M. (1992). "A evolução do conceito de espaço verde público urbano." *AGROS* 2: 10-18.
- Maller, C., M. Townsend, A. Pryor, P. Brown and L. St Leger (2006). "Healthy nature healthy people: 'contact with nature' as an upstream health promotion intervention for populations." *Health promotion international* 21(1): 45-54.
- McPhearson, T., P. Kremer and Z. A. Hamstead (2013). "Mapping ecosystem services in New York City: Applying a social–ecological approach in urban vacant land." *Ecosystem Services* 5: 11-26.
- McPherson, E. G. (1998). "Atmospheric carbon dioxide reduction by Sacramento's urban forest." *Journal of Arboriculture* 24: 215-223.

- McPherson, E. G. and J. R. Simpson (1999). "Carbon dioxide reduction through urban forestry." Gen. Tech. Rep. PSW-171, USDA For. Serv., Pacific Southwest Research Station, Albany, CA.
- MEA (2005). "Millennium ecosystem assessment." Ecosystems and human wellbeing: a framework for assessment Washington, DC: Island Press.
- Melles, S., S. Glenn and K. Martin (2003). "Urban bird diversity and landscape complexity: species–environment associations along a multiscale habitat gradient." *Conservation Ecology* 7(1).
- Moreno-garcia, M. C. (1994). "Intensity and form of the urban heat island in Barcelona." *International Journal of Climatology* 14(6): 705-710.
- Muller, N., P. Werner and J. G. Kelcey (2010). *Urban biodiversity and design*, John Wiley & Sons.
- Nowak, D. J. (1994). "Air pollution removal by Chicago's urban forest." *Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project*: 63-81.
- Nowak, D. J., D. E. Crane, J. C. Stevens and M. Ibarra (2002). "Brooklyn's urban forest."
- O'Brien, L., K. Williams and A. Stewart (2010). "Urban health and health inequalities and the role of trees, woods and forests in Britain: a review." *Forest Research*.
- Oliveira, R., A. C. de Abreu and T. Correia (2004). *Contributos para a identificação e caracterização da paisagem em Portugal Continental*, Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano.
- Lionel Pincus and Princess Firyal Map Division, The New York Public Library (1873). *Map of the Central Park*. Accessed July 19, 2018. <http://digitalcollections.nypl.org/items/4ee14540-3569-0134-fa82-00505686a51c>
- Owen, N., N. Humpel, E. Leslie, A. Bauman and J. F. Sallis (2004). "Understanding environmental influences on walking." *American journal of preventive medicine* 27(1): 67-76.
- Pellissier, V., A. Muratet, F. Verfaillie and N. Machon (2012). "Pollination success of *Lotus corniculatus* (Maes) in an urban context." *Acta oecologica* 39: 94-100.
- Pereira, H., T. Domingos, L. Vicente and V. Proença (2009). "Ecosistemas e Bem-estar humano." *Avaliação para Portugal do Millennium Ecosystem Assessment (Ecosystems and Human Well-Being: Rating for Portugal's Millenium Ecosystem Assessment*. Escolar Editora.
- Pickett, S. T., M. L. Cadenasso, J. M. Grove, C. H. Nilon, R. V. Pouyat, W. C. Zipperer and R. Costanza (2001). "Urban ecological systems: linking terrestrial ecological, physical, and socioeconomic components of metropolitan areas." *Annual review of ecology and systematics* 32(1): 127-157.
- Policy, S. f. E. (2015) "Ecosystem Services and the Environment. In-depth Report 11 produced for the European Comission, DG Environment by the Sciece Communication Unit, UWE, Bristol."
- Raudsepp-Hearne, C., G. D. Peterson and E. Bennett (2010). "Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107(11): 5242-5247.
- Research, F. (2010). *Benefits of green infrastructure*. R. b. F. Reseach, Forest Research, Farnham.

Salgueiro, T. (2005). "Transformação Urbana in Carlos Alberto Medeiros (Direção)." Geografia de Portugal, tomo 2 – Sociedade, Paisagens e Cidades, parte IV – Paisagens Urbanas; Lisboa: Círculo de Leitores.

Silva, B. A., T. C. Xavier, F. T. da Silva and C. E. de Alvarez (2015). O impacto da distribuição de vegetação no microclima de ambientes urbanos.

Silva, I. P. d. (2010). Balanço de dióxido de carbono em áreas urbanas: emissão e sequestro, Universidade de Aveiro.

Steertegem Marleen, V. B., Johan & Stijn, Overloop & Peeters, Bob & Walsum Els, van & Eddie, Muylle (2000) "MIRA-S 2000: Summary (English)."

Sunyer, J., X. Basagana, J. Belmonte and J. Anto (2002). "Effect of nitrogen dioxide and ozone on the risk of dying in patients with severe asthma." *Thorax* 57(8): 687-693.

Swanwick, C., N. Dunnett and H. Woolley (2003). "Nature, role and value of green space in towns and cities: An overview." *Built Environment* (1978-): 94-106.

Szumacher, I. (2011). "Functions of urban greenspace and ecosystem services."

TEEB (2010). "A economia dos ecossistemas e da biodiversidade: integrando a economia da natureza. Uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB"

TELLES, G. R. (1997). "Plano verde de Lisboa." Edições Colibri.

Tommasi, D., A. Miro, H. A. Higo and M. L. Winston (2004). "Bee diversity and abundance in an urban setting." *The Canadian Entomologist* 136(6): 851-869.

Tzoulas, K., K. Korpela, S. Venn, V. Yli-Pelkonen, A. Kazmierczak, J. Niemela and P. James (2007). "Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review." *Landscape and urban planning* 81(3): 167-178.

Unidas, N. (2010). *World Urbanization Prospects: The 2009 Revision*. P. D. UN Department of Economic and Social Affairs, New York.

Union, E. (2010). *Making our cities attractive and sustainable*. Luxembourg, Publications Office of the European Union.

Van de Voorde, T. (2017). "Spatially explicit urban green indicators for characterizing vegetation cover and public green space proximity: a case study on Brussels, Belgium." *International Journal of Digital Earth* 10(8): 798-813.

Van Herzele, A. and T. Wiedemann (2003). "A monitoring tool for the provision of accessible and attractive urban green spaces." *Landscape and urban planning* 63(2): 109-126.

Vauramo, S. and H. Setälä (2011). "Decomposition of labile and recalcitrant litter types under different plant communities in urban soils." *Urban ecosystems* 14(1): 59-70.

Vieira, A. A. B. (2009). *Serra de Montemuro: dinâmicas geomorfológicas, evolução da paisagem e património natural*.

Villarreal, E. L. and L. Bengtsson (2005). "Response of a Sedum green-roof to individual rain events." *Ecological Engineering* 25(1): 1-7.

Yang, J., Q. Yu and P. Gong (2008). "Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago." *Atmospheric environment* 42(31): 7266-7273.

Young, R. F. (2010). "Managing municipal green space for ecosystem services." *Urban Forestry & Urban Greening* 9(4): 313-321.

Zulian, G., C. Polce and J. Maes (2014). "ESTIMAP: a GIS-based model to map ecosystem services in the European union." *Annali di Botanica* 4: 1-7.