

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS - Campus Sorocaba



CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE NA GESTÃO
AMBIENTAL

VALÉRIA LETÍCIA MARQUES BARBOSA

**PROTOCOLO PARA AVALIAÇÃO DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM ÁREAS
VERDES E FLORESTAS URBANAS**

Sorocaba

2024

Valéria Letícia Marques Barbosa

Protocolo para avaliação de serviços ecossistêmicos em áreas verdes e florestas urbanas

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental da Universidade Federal de São Carlos para obtenção do título de Mestra em Sustentabilidade na Gestão Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Eliana Cardoso Leite

Sorocaba

2024

Marques Barbosa, Valéria Letícia

Protocolo para avaliação de serviços ecossistêmicos em áreas verdes
e florestas urbanas / Valéria Letícia Marques Barbosa -- 2024.
148f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): Eliana Cardoso Leite

Banca Examinadora: Profa. Dra. Eliana Cardoso Leite, Prof. Dr.
Luciano Elsinor Lopes, Dra. Jussara de Lima Carvalho

Bibliografia

1. Serviços ecossistêmicos. 2. Gestão ambiental. 3. Ecossistemas
urbanos. I. Marques Barbosa, Valéria Letícia. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)
Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano - CRB/8 6979

Valéria Letícia Marques Barbosa

Protocolo para avaliação de serviços ecossistêmicos em áreas verdes e florestas urbanas

O presente trabalho em nível de Mestrado foi avaliado e aprovado, em 09 de setembro de 2024, pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:


Profa. Dra. Eliana Cardoso Leite
Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dr. Luciano Elsinor Lopes
Universidade Federal de São Carlos

Dra. Jussara de Lima Carvalho
Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo

Certificamos que esta é a versão original e final do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestra em Sustentabilidade na Gestão Ambiental.

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Documento assinado digitalmente
 ELIANA CARDOSO LEITE
Data: 10/10/2024 14:28:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Eliana Cardoso Leite
Orientadora

Sorocaba, 2024

Dedico este trabalho às minhas avós e falecido
avô, cujos olhinhos sempre brilham (e
brilhavam) com orgulho e admiração quando
falo dos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer imensamente à minha orientadora, que confiou em mim e sempre se demonstrou tão solícita, interessada, proativa, e prestativa, desde 2019, em que a idealização do trabalho ainda era foco de iniciação científica.

Agradeço aos meus amigos Pedro Poleti, Gabriel Telo Mariano e André Fogaça, assim como minha namorada Natalia, que me acompanharam nas minhas dezenas de saídas de campo ao longo dos anos.

Agradeço ao professor Dr. Luiz Carlos de Faria, que me auxiliou no processo da revisão sistemática, assim como ao Ms. Leonardo Ferreira da Silva e à Msa. Vanessa Peixoto, que me auxiliaram na revisão do artigo do protocolo e o acompanham também desde 2019.

Também gostaria de agradecer aos funcionários dos parques e da Secretaria do Meio Ambiente de Sorocaba que me ajudaram em campo, como o Sr. Quico, ex-funcionário do Parque Ouro Fino, Maurício Tavares Mota ex-secretário do Meio Ambiente, e a Tainara ex-funcionária da SEMA, assim como incontáveis outros como funcionários que me acompanharam durante os testes, que prestaram informações, ou que facilitaram meu acesso durante os tempos da pandemia, e que infelizmente não me recordo dos nomes.

Finalmente, agradeço à minha família: meus pais, avós, tias, padrinhos, que sempre se mostraram tão presentes, acreditaram em mim e me acompanharam durante todo o meu percurso profissional, dando suporte, me acompanhando e assistindo eventos e apresentações, e até mesmo auxiliando financeiramente, quando precisei.

RESUMO

Áreas verdes urbanas fornecem serviços ecossistêmicos, benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, os quais são agrupados em quatro categorias: cultural, provisão, regulação e suporte. Pesquisadores criaram e testaram alguns protocolos para avaliar serviços ecossistêmicos em áreas urbanizadas de regiões temperadas, mas países em desenvolvimento carecem de estudos, apesar das suas distintas realidades ambientais e sociais. Então, o objetivo do presente mestrado é propor um instrumento que qualquer técnico em um país em desenvolvimento possa utilizar de forma simples, rápida, porém ainda sensível. Como diferentes áreas verdes possuem diferentes potenciais para fornecer serviços ecossistêmicos de acordo com suas propriedades e objetivos, o protocolo deve avaliar a qualidade do fornecimento de serviços, medindo fraquezas e forças de cada área. Primeiro, foi realizada revisão sistemática da literatura para avaliar o estado da arte do tema, de acordo com o método PRISMA. Então, foram escolhidos indicadores para serviços ecossistêmicos que representassem as quatro categorias; eles deveriam ser sensíveis, de fácil aplicação, e adaptados para ambientes urbanos. Os indicadores foram ranqueados em quatro notas que representavam a qualidade do fornecimento de serviços na área: I- extremamente insatisfatório, II- insatisfatório, III- satisfatório e IV- extremamente satisfatório. Testes empíricos para calibrar o protocolo e avaliar o fornecimento de cada serviço ecossistêmico foram realizados na cidade de Sorocaba, durante o outono. A comparação entre as áreas demonstrou que o protocolo é sensível para indicador diferenças entre as áreas, e pode servir como instrumento de gestão pra as secretarias de meio-ambiente municipais. Por final, pontua-se que as áreas verdes urbanas podem atender, com o planejamento adequado, uma multiplicidade de benefícios para a população em diversas frentes. Então, áreas que englobam elementos sociais e ambientais, em conjunto, destacam-se com a mais completa oferta de serviços ecossistêmicos e bem-estar.

Palavras-chave: planejamento verde urbano; infraestrutura verde; índice de serviços ecossistêmicos.

ABSTRACT

Urban green areas provide ecosystem services, benefits people obtain from ecosystems, which are clustered in four categories: Cultural, Provisioning, Regulating and Supporting. Researchers have created and tested some protocol to assess ecosystem services in urbanised areas of temperate regions; nevertheless, development countries lack studies, notwithstanding their distinct environmental and social realities. Hence, this master's program objective to propose an instrument that any development-country technician is able to use simply, rapidly, but still sensitively. As different green areas possess different potentials to deliver ecosystem services, according to their properties and goals, the protocol must assess ES, evaluating weaknesses and strengths for each area. First, a systematic literature review was carried out to assess theme's state of art, according to PRISMA method. Subsequently, ES indicators were selected to assess the four categories; they ought to be sensitive, user-friendly, and adapted to urban environments. Indicators were ranked in four grades which represented the ES supply quality in the area: I- extremely unsatisfactory, II- unsatisfactory, III- satisfactory and IV- extremely satisfactory. Empirical tests to calibrate the protocol and assess each ES supply were performed in autumn, in the city of Sorocaba. Areas comparison demonstrated the protocol is sensitive to identify differences amongst areas, and may serve as a management instrument for municipal environmental secretaries. Finally, it is pointed out that urban green areas may attend, with proper planning, a multitude of benefits for the population on several fronts. Thus, areas which embrace social and environmental elements combined stand out with the most complete offer of ES and well-being.

Keywords: urban green planning; green infrastructure; ecosystem services index.

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1 - Mapa de rede de coocorrência de palavras-chave no vosviewer	24
Figura 2 - Diagrama de fluxo prisma	25
Figura 3 - Distribuição das Publicações em Revistas dos Estudos Incluídos na Revisão Sistemática	26
Figura 4 - Cronologia de publicação dos estudos incluídos na Revisão Sistemática	27
Figura 5 - Distribuição Geográfica dos Locais dos Estudos por países.....	28
Figura 6 - Tipos de serviços ecossistêmicos encontrados na Revisão Sistemática de Literatura	28
Figura 7 - Tipos de áreas verdes avaliadas empiricamente pelos autores dos artigos incluídos na Revisão Sistemática de Literatura	30

ARTIGO 3

Figuras 1 e 2 - Parque das Águas (fotografia)	71
Figura 3 - Parque das Águas (Imagem de satélite)	72
Figuras 4 e 5 - Parque Campolim (fotografia)	73
Figura 6 - Parque Campolim (Imagem de satélite)	74
Figuras 7 e 8 - Parque Miguel Gregório (Fotografia)	75
Figura 9 - Parque Miguel Gregório (Imagem de satélite).....	76
Figuras 10 e 11 - Parque da Biquinha (Fotografia)	77
Figura 12 - Parque da Biquinha (Imagem de satélite)	78
Figuras 13 e 14 - Parque da Água Vermelha (Fotografia).....	79
Figura 15 - Parque da Água Vermelha (Imagem de satélite)	80
Figuras 16 e 17 - Parque Ouro Fino (Fotografia)	81
Figura 18 - Parque Ouro Fino (Imagem de satélite)	81
Figuras 19 e 20 – Floresta Cultural (Fotografia)	82
Figura 21 – Floresta Cultural (Imagem de satélite)	83
Figura 22 – Lago do Parque das Águas, porção levemente eutrofizada.....	87
Figura 23 – Lago do Campolim (condição satisfatória)	87
Figura 24 – Lago do Campolim (condição insatisfatória)	88
Figura 25 – Lago do Parque da Água Vermelha (condição satisfatória)	88

Figura 26 – Lago do Parque da Água Vermelha (condição insatisfatória).....	89
Figura 27 – Córrego na Floresta Cultural	90
Figura 28 – Lagos na Floresta Cultural.....	91
Figura 29 – Córrego no Parque da Biquinha	91
Figura 30 – Lago natural no Parque da Biquinha	92
Figura 31 – Córrego no Parque Ouro Fino	92
Figura 32 – Córrego no Parque Miguel Gregório, com presença de resíduos sólidos.....	93
Figura 33 – Lago no parque Miguel Gregório	93
Figura 34 – Trilhas dinâmicas na floresta florestal.....	99
Figura 35 – Trilha das pedras no parque da Biquinha	100
Figuras 36 e 37 – Trilha no Parque Ouro Fino	101
Figura 38 – Trilha no parque Miguel Gregório	102
Figura 39 – Pista de caminhada no parque Miguel Gregório	102
Figuras 40 e 41 – Pistas de caminhada no parque Campolim.....	103
Figuras 42 e 43 – Pista de caminhada no Parque das Águas	104
Figura 44 – Pista de caminhada permeável no Parque da Água Vermelha	105
Figura 45 –Pista de caminhada adaptada para PCD no Parque da Água Vermelha	106
Figura 46 – Trecho do córrego do parque Miguel Gregório, próximo à nascente.....	110
Figura 47 – Nascente modelo do parque da Biquinha	110
Figura 48 – Nascente modelo do parque da Água Vermelha	111
Figura 49 – Nascente perene na Floresta Cultural	112
Figura 50 – Nascente no Parque Ouro Fino.....	112
Figura 51 – Árvores isoladas no Parque das Águas.....	117
Figuras 52 e 53 – Estrato do parque Campolim.....	118
Figuras 54 e 55 – Estratos no Parque da Água Vermelha.....	119
Figuras 56 e 57 – Estratos no parque Miguel Gregório	120
Figuras 58 e 59 – Estratos no parque da Biquinha.....	121
Figuras 60 e 61 – Estratos florestais no Parque Ouro Fino.....	122
Figuras 62 e 63 – Estratos florestais na Floresta Cultural	122

LISTA DE TABELAS E QUADROS

ARTIGO 2

Table 1. Ecosystem Services Assessment Protocol	52
Table 2. Selected Cultural ES indicators and evaluation procedures	53
Table 3. Selected Provisioning ES indicators and evaluation procedures	53
Table 4. Selected Regulating ES indicators and evaluation procedures	55
Table 5. Selected Supporting ES indicators and evaluation procedures.....	56

ARTIGO 3

Quadro 1 – Classificação da oferta de serviços ecossistêmicos	84
Tabela 1 – Áreas (em ha)	85
Tabela 2 - Notas recebidas pelas áreas verdes urbanas testadas para cada um dos indicadores avaliados	85
Tabela 3 - Notas parciais (categorias) e finais para cada área verde urbana testada	124
Quadro 2 – Classificação das áreas verdes testadas, segundo a oferta de serviços ecossistêmicos (das 4 categorias – culturais, provisão, regulação, suporte)	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIA	Áreas de Interesse Ambiental
CICES	Common International Classification of Ecosystem Services
CO ₂	Carbon dioxide (dióxido de carbono)
COAVES	Clube de Observadores de Aves de Sorocaba
COVID-19	Infecção respiratória aguda causada pelo coronavírus SARS-Cov-2
°C	graus Celsius
dB(s)	decibels (decibéis)
dB(A)	decibels in A-weighting (decibéis em ponderação A)
ES	Ecosystem Services (Serviços Ecosistêmicos)
ELUPIS	Espaços Livres de Uso Público e Interesse Social
GDP	Growth Domestic Product (Produto Interno Bruto - PIB)
GE	Google Earth
h	hora
ha	hectare(s)
HDI	Human Development Index (Índice de Desenvolvimento Humano - IDH)
indiv.	individuals (indivíduos)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
km	kilometres (quilômetros)
km ²	square kilometres (quilômetros quadrados)
LGBT	Lesbian, gay, bisexual and transgender
LGBTQIA+	Pessoas Lésbicas, Gays, Bissexuais, Transgêneros, Queer, Intersexos, Assexuais e outras
m	metres (metros)
m ²	square metres (metros quadrados)
MEA	Millenium Ecosystem Services (Avaliação Ecosistêmica do Milênio)
PAR	Protocolo de Avaliação Rápida
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
ONG	Organização Não-Governamental
RAP	Rapid Assessment Protocol
SEMIL	Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo
spp.	espécies
SSF	Semideciduous Seasonal Forest (Floresta Estacional Semidecidual)
t	tons (toneladas)

UA	Urban Area (Áreas Urbanas)
UC	Unidade de Conservação
UGA	Urban Green Areas (Áreas Verdes Urbanas)
UM	United Nations (Organização das Nações Unidas – ONU)

SUMÁRIO

2	INTRODUÇÃO GERAL	16
3	OBJETIVOS	18
3.1	OBJETIVOS GERAIS	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4	ARTIGO 1: COMPOSITE-INDICATORS FOR URBAN ECOSYSTEM SERVICES AT SITE-LEVEL: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW	20
4.1	INTRODUCTION	21
4.2	MATERIALS AND METHODS	22
4.3	RESULTS AND DISCUSSION.....	23
4.4	CONCLUSIONS	33
4.5	REFERENCES	33
5	ARTIGO 2: ECOSYSTEM SERVICES ASSESSMENT IN URBAN GREEN AREAS AND URBAN FORESTS - RAPID ASSESSMENT PROTOCOL FOR CITIES	44
5.1	INTRODUCTION	45
5.2	METHODOLOGICAL PROCEDURES.....	47
	Indicators Selection	48
	Protocol Construction	49
	Protocol Calibration.....	50
5.3	RESULTS	51
5.4	DISCUSSION.....	57
5.5	CONCLUSIONS	59
5.6	REFERENCES	59
6	ARTIGO 3: OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS OFERECIDOS POR ÁREAS VERDES E FLORESTAS URBANAS EM SOROCABA/SP.	67
6.1	INTRODUÇÃO.....	67
6.2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	69
	6.2.1 Área de estudo.....	69
6.2.2.1	<i>Parque das Águas “Maria Barbosa Silva” (ELUPIS).....</i>	<i>70</i>
6.2.2.2	<i>Parque Carlos Alberto de Souza — Parque Campolim (ELUPIS).....</i>	<i>72</i>
6.2.2.3	<i>Parque Miguel Gregório de Oliveira — Parque do Santa Bárbara (ELUPIS).....</i>	<i>74</i>
6.2.2.4	<i>Parque Natural da Biquinha (AIA)</i>	<i>76</i>
6.2.2.5	<i>Parque Natural Municipal da Água Vermelha “João Cândio Pereira” (AIA).....</i>	<i>78</i>

6.2.2.6	<i>Parque Natural Ouro Fino (AIA)</i>	80
6.2.2.7	<i>Floresta Cultural do Parque Três Meninos (UC)</i>	82
6.2.2	Indicadores e testes	83
6.2.3	Cálculo das notas	84
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	84
1.1.1	Indicadores Culturais	86
6.3.1.1	<i>Água</i>	86
6.3.1.2	<i>Flores</i>	93
6.3.1.3	<i>Animais atrativos</i>	95
6.3.1.4	<i>Acessibilidade</i>	96
6.3.1.5	<i>Atividades e eventos</i>	97
6.3.1.6	<i>Pistas de caminhada</i>	98
6.3.1.7	<i>Aves (vocalização) e sons de água</i>	107
6.3.1.8	<i>Visitação guiada ou auto-guiada</i>	107
6.3.2	Indicadores de Provisão	108
6.3.2.1	<i>Árvores frutíferas</i>	108
6.3.2.2	<i>Nascentes</i>	109
6.3.3	Indicadores de Regulação	113
6.3.3.1	<i>Fragmentos florestados (sequestro de carbono)</i>	113
6.3.3.2	<i>Temperatura</i>	113
6.3.3.3	<i>Sombreamento</i>	114
6.3.3.4	<i>Solo protegido</i>	114
6.3.3.5	<i>Solo drenante</i>	114
6.3.3.6	<i>Ruído</i>	115
6.3.4	Indicadores de Suporte	116
6.3.4.1	<i>Cobertura de dossel</i>	116
6.3.4.2	<i>Estratificação</i>	116
6.3.4.3	<i>Serrapilheira</i>	123
6.3.5	Comparação entre as áreas	123
7	CONCLUSÃO GERAL	134
	REFERÊNCIAS	135
	APÊNDICE A – LITERATURE KEY-ASPECTS FOR PROTOCOL CONSTRUCTION	143

2 INTRODUÇÃO GERAL

Os benefícios advindos dos ecossistemas que afetam diretamente o bem-estar humano são chamados de "serviços ecossistêmicos" (SE) (MEA, 2005). Os serviços ecossistêmicos podem ser agrupados em 4 categorias: provisão (fornecimento de materiais como alimento e água); regulação (climática, hídrica, etc.); suporte (funções biogeoquímicas); e cultural (benefícios não-materiais) (MEA, 2005).

Visto que o julgamento para a conservação, na prática, se baseia mais nos valores humanos do que em estudos científicos sobre ameaças à biodiversidade, um enfoque sobre os SE fornece mais argumentos para a comunidade científica embasar suas motivações conservacionistas (MACE et al., 2012). Estes argumentos podem ser mais convincentes para a população e, por conseguinte, mais úteis para validar políticas públicas.

Um enfoque no ambiente urbano se faz então necessário, posto que as pessoas podem aprender a valorizar mais facilmente algo que está no seu cotidiano, que pode ser utilizado, e que está próximo da sua área de vivência. Este enfoque também se faz urgente, posto que as consequências da perda destes serviços já podem ser sentidas pelas pessoas, como as “ilhas de calor” nas cidades e o aumento na poluição atmosférica.

Contudo, as áreas verdes urbanas são muito heterogêneas, fato que reflete na entrega de cada categoria de SE. Logo, é de interesse o desenvolvimento de um instrumento, tal como um protocolo, que avalie o fornecimento de SE em cada área, de acordo com suas características.

Pesquisadores criaram e testaram alguns protocolos para avaliar os SE em áreas urbanas em países de clima temperado; contudo, regiões tropicais e países em desenvolvimento, caracterizados por fitofisionomias e sistemas sociais distintos, contam com uma escassez de estudos (BOTZAT et al., 2016; HAASE et al., 2014; KLEINSCHOTH e KOWARIK, 2020; SCHEWENIUS et. al., 2004). Estudos multidimensionais são necessários para preencher lacunas de conhecimento nestas regiões socio-ecológicas, de forma a construir uma resiliência em cidades que já estão enfrentando mudanças climáticas (BOTZAT et al, 2016; HAASE et al., 2014; MUÑOZ PACHECO & VILLASEÑOR, 2022).

Os protocolos existentes também são de difícil adaptação e aplicação para os países em desenvolvimento, por exemplo: enquanto Dobbs et al. (2011) selecionaram indicadores onerosos, como a realização de estudos laboratoriais, Brzoska et al. (2021) criaram um protocolo padronizado e de fácil aplicação, contudo, segundo os próprios autores, que ainda

precisaria de pessoal altamente treinado. Estas demandas são dissonantes com uma falta de recursos econômicos e pessoal, como muitas vezes é a realidade de secretarias de meio ambiente de países com economia emergente (GRUNEWALD et al., 2021). Um estudo que cubra mais de uma dimensão de SE também é raro (HAASE et al., 2014).

Foi criado, durante iniciação científica, nos anos de 2019 e 2020, um protocolo para avaliação de serviços ecossistêmicos oriundos de áreas verdes urbanas, adaptado para o município de Sorocaba, com indicadores sensíveis para mostrar as diferenças na quantidade e qualidade dos SE entregues por diferentes áreas verdes, evidenciando quais áreas provêm quais serviços e o porquê. O protocolo possui aplicação fácil e relativamente rápida, de forma a poder ser aplicado por pessoal de nível médio, com treinamento relativamente simples.

A opinião de especialistas, metodologia utilizada na construção do protocolo para estabelecer classes, é a forma mais frequente dentre as utilizadas na literatura (BURKHARD et al., 2014; CAMPAGNE et al., 2020). A presença dos especialistas, em painéis, é, inclusive, um processo legítimo que, quando envolve realização de workshops, promove entendimento dos tomadores de decisão e formuladores de políticas públicas (CAMPAGNE et al., 2020).

O protocolo proposto deverá continuar a ser, então, de fácil utilização e entendimento, porém ainda sensível para identificar a diferença entre as áreas, e respaldado cientificamente. O protocolo poderá ser utilizado (com pouco treinamento prévio) por técnicos de prefeituras na avaliação da qualidade das áreas verdes.

O mestrado resultou na submissão de dois artigos científicos, um para uma revista qualis B5 com uma revisão sistemática da literatura (foi aprovado), outro para revista qualis A3, acerca da construção e calibragem do protocolo (está em análise pela revista) e o terceiro artigo está em construção e será apresentado em 4º Fórum Latino-americano de Florestas Urbanas, da FAO, e posteriormente submetido para publicação. Este último artigo é uma análise das áreas verdes de Sorocaba, aplicando o protocolo.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVOS GERAIS

O enfoque do presente mestrado é aprimorar o protocolo criado previamente em iniciação científica, atualizá-lo e realizar testes em mais áreas, agora com um contexto pós-pandêmico. A presente pesquisa de mestrado tem como objetivo aprimorar o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) (*Rapid Assessment Protocol*) para avaliação de SE oriundos de áreas verdes urbanas, criado durante iniciação científica. Todos os ajustes visam aumentar a precisão metodológica e a confiabilidade dos resultados do protocolo.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I- Atualizar a revisão da literatura quanto às publicações dos anos de 2021 a 2023, para verificar sobre possíveis novas metodologias disponíveis, mais simples e rápidas;

II- Aprimorar o intervalo entre as classes, e aprofundar a metodologia de cada indicador, quando necessário;

III- Realizar novos testes:

a) em áreas diferentes, para alcançar um número amostral maior e mais abrangente em relação aos números alcançados durante a iniciação científica;

b) em algumas das mesmas áreas, para atualizar os dados de coleta e permitir uma comparação confiável, dado que a realidade dos parques pode estar muito diferente desde a pandemia de COVID-19.

“Biodiversidade é a biblioteca da vida”
(Thomas Lovejoy, ambientalista)

4 ARTIGO 1: COMPOSITE-INDICATORS FOR URBAN ECOSYSTEM SERVICES AT SITE-LEVEL: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

INDICADORES COMPOSTOS PARA SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS URBANOS EM NÍVEL LOCAL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

ABSTRACT

Urban green areas, crucial components of green infrastructure, provide a variety of ecosystem services (ES) essential for enhancing the quality of life in cities. The quantity and quality of these ES are estimated and evaluated using indicators that serve as urban planning tools. However, these indicators are often challenging to generalize as they have been developed for specific locations and situations, frequently focusing on just one dimension - ecological, environmental, or economic. In this context, this study explored indicators for ES in urban green areas found in scientific articles from Scopus, Web of Science, and Scielo, through a Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review following the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) protocol. Upon thorough examination of the 37 articles resulting from PRISMA, a predominance of indicators related to regulating services, particularly in urban parks, followed by cultural and supporting services, was observed. A diversity of indicators, methodologies, and analysis frameworks for ES was identified without a clear standardization, potentially complicating their application in urban green infrastructure planning and management. A research gap was noted regarding ES indicators studies in tropical and subequatorial urban environments, especially those that establish connections between ES and the necessary innovations to promote them.

Keywords: Urban Management; Urban Green Areas; Environmental Indicators. Urban arborization.

RESUMO

As áreas verdes urbanas, partes essenciais da infraestrutura verde, fornecem uma variedade de serviços ecossistêmicos (SE) para a melhoria da qualidade de vida nas cidades. A quantidade e qualidade dos SE são avaliadas por meio de indicadores que servem como ferramentas de planejamento urbano. No entanto, muitas vezes, esses indicadores são difíceis de generalizar, uma vez que foram desenvolvidos para localidades e situações específicas, abrangendo frequentemente apenas uma dimensão - ecológica, ambiental ou econômica. Neste contexto, este estudo investigou indicadores para SE em áreas verdes urbanas encontrados em artigos científicos da *Scopus*, *Web of Science* e *Scielo*, por meio de uma Análise Bibliométrica

e Revisão Sistemática de Literatura conforme o protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Após a leitura completa dos 37 artigos resultantes do PRISMA, observou-se a predominância de indicadores associados aos serviços de regulação, especialmente em parques urbanos, seguidos por serviços culturais e de suporte. Foi identificada uma diversidade de indicadores, metodologias e estruturas de análise para SE sem uma padronização clara, o que pode dificultar sua aplicação no planejamento e gestão da infraestrutura verde nas cidades. Foi identificada uma lacuna na pesquisa de indicadores de SE em ambientes urbanos tropicais e subequatoriais, especialmente naquelas que estabelecem conexões entre os SE e as inovações necessárias para promovê-los.

Palavras-chave: Gestão ambiental; Áreas verdes urbanas; Indicadores Ambientais; Arborização urbana.

4.1 INTRODUCTION

Ecosystems provide essential benefits to human society, collectively referred to as ecosystem services (ES). The concept of ES was formulated to emphasize the increasing threats to ecosystems posed by human activities while underscoring the superior advantages of natural environments compared to deforested areas (Pesche et al., 2012). In urban environments, urban forests play an essential role, offering a diverse range of ecological, social, and economic benefits. However, the management and conservation of urban forests present multifaceted challenges (Locosselli and Buckeridge, 2023).

Urban forests contribute significantly to the four primary categories of ecosystem services (Locosselli and Buckeridge, 2023; MEA, 2005): (i) cultural services: which encompass non-material benefits such as education and recreation; (ii) provisioning services: which involve consumable products like food and water; (iii) regulating services: which include processes like climate amelioration; and (iv) supporting services: which maintain functional cycles such as nutrient cycling.

In addition to natural ecosystems, urban green areas (UGA) serve as vital green infrastructures (UGAs). The post-COVID-19 era has witnessed a substantial surge in demand for UGAs, emphasizing their critical role in providing localized ecosystem services (KIM and SON, 2022). Each UGA offers unique sets of ecosystem services, and necessitates the development of effective assessment tools to aid landscape designers in their evaluation.

Indicators play a crucial role in simplifying the complexity of ecosystems (Kelly and Harwell, 1990), facilitating the assessment of ecosystem services in UGAs. While economic frameworks have been popular for ecosystem services evaluation, they have faced criticisms

regarding their applicability (Engström and Gren, 2017; Brzoska et al., 2021), advocating for the utilization of biophysical indicators, especially for non-cultural services (Cortinovis et al., 2021). Many services are economically incommensurable, and could not be charged, like the right to breathe fresh air.

Regarding to scale, a site-level assessment focus provides more detail about the ES supply in each UGA (Daniels et al., 2018; Caprioli et al., 2020; Brzoska et al., 2021; Veerkamp et al., 2021). Several ecological indicators assess ES, and studies in urban landscapes and UAs are increasing. However, those indicators are scattered in the literature, as most studies elaborate and test a single indicator (Charoenkit and Kampanart, 2019). Likewise, when more than a single ES is analyzed, the ES usually belong to the same category (e.g. waste treatment and pollination, which are both regulating services). Nonetheless, a multidimensional approach for the supply of ES in UA areas is certainly useful for urban planning and design.

A composite-indicator solves the multifunctionality problem. Composite indicators combine sets of individual indicators into a single index (Saisana, 2004; Alam et al., 2016). Authors quantify ES in UGAs with diverse methodological approaches and give composite indicators different names: protocol, indexes, frameworks, or do not name them at all. Hence, there is neither standardization nor consensually accepted composite-indicators that comprehend all types of UGA, UA, ES or eco-regions (Longsdon and Chaubey, 2013; Pakzad and Osmond, 2015; Szücs et al., 2015; Bartesaghi Koc et al., 2018; Veerkamp et al., 2021).

Therefore, this study aims to organize non-economic composite indicators designed for or tested in urban green areas at the site level. The specific objectives are: (i) identify publication trends; (ii) compare different methodologies, indicators and indexes; (iii) identify what kind of ES categories, services and indicators are currently assessed in urban contexts; (iv) identify which green areas are focused; and (v) indicate future research directions.

4.2 MATERIALS AND METHODS

This Bibliometric Analysis and Systematic Literature Review adheres to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines, following the approach outlined by Pahlevan et al. (2018) and Page et al. (2021). The review criteria encompassed documents in English, Spanish, or Portuguese, with a special consideration for systematic reviews due to their efficiency in identifying aggregated environmental services and indicators. Eligibility criteria for articles included the presentation of non-economic indicators, expert-applied methodologies for assessing multiple ecosystem services, and a specific focus

on urban green areas (UGAs), especially for urban arborization, at the site level, in accordance with the criteria proposed by Robinson and Lundholm (2012).

Key inclusion criteria for selected articles were as follows: (i) the presentation of a composite index encompassing multiple ecosystem services, either through methodological innovation or by referencing existing works, with a clear definition of ecosystem services, such as pollination or recreation; (ii) the assessment of UGA's capacity to provide ecosystem services, excluding articles that did not correlate UGA characteristics with ecosystem service provision; (iii) the application of biophysical indicators by experts, directly related to ecosystem services, while excluding indicators focused on area design, perception, demand, or economic aspects; (iv) the individual assessment in urban contexts, excluding broader land cover comparisons or national-level analyses.

Data collection involved the identification of seminal articles by Dobbs et al. (2011) and Gomez-Baggethun and Barton (2013) and Gaudereto et al. (2018), which proposed ecosystem services indexes for UGAs. Keywords derived from these studies were augmented to encompass broader terms, considering the variable use of 'environmental services' and 'ecosystem services' in the literature, as discussed by Tancoigne et al. (2014), and Lamarque et al. (2011). The final search string in English included terms such as 'indicators,' 'framework,' 'valuation,' and 'assessment,' without imposing date restrictions.

The search was conducted across Scopus, Web of Science, and Scielo databases on December 2022, with a focus on titles, abstracts, and keywords. Google Scholar was excluded due to its tendency to generate broad results and its limited filtering capabilities.

Data analysis involved exporting metadata for identified records in RIS format for import into Rayyan, a systematic review management tool (Rayyan, 2022). Rayyan facilitated the identification of duplicates and initial labeling of articles. Two independent reviewers conducted abstract screening, with full reviews conducted for eligible texts.

The data analysis process included the extraction and coding of relevant information from eligible papers, including a pilot test on 10 papers to refine data coding. The extracted data covered publication trends, geographical patterns, categories of ecosystem services, indicators used, key aspects of documents, UGA assessment, and the structure of frameworks. All data were recorded in an Excel sheet for comprehensive analysis.

4.3 RESULTS AND DISCUSSION

The Bibliometric Analysis network visualization produced by VOSviewer (Figure 1) elucidates keyword clusters, where the colour of each circle signifies its cluster group, and circle

size reflects the strength of interrelationships among keywords. This visualization provides a nuanced perspective on keyword interplay and their significance within the realm of ecosystem services in urban green areas.

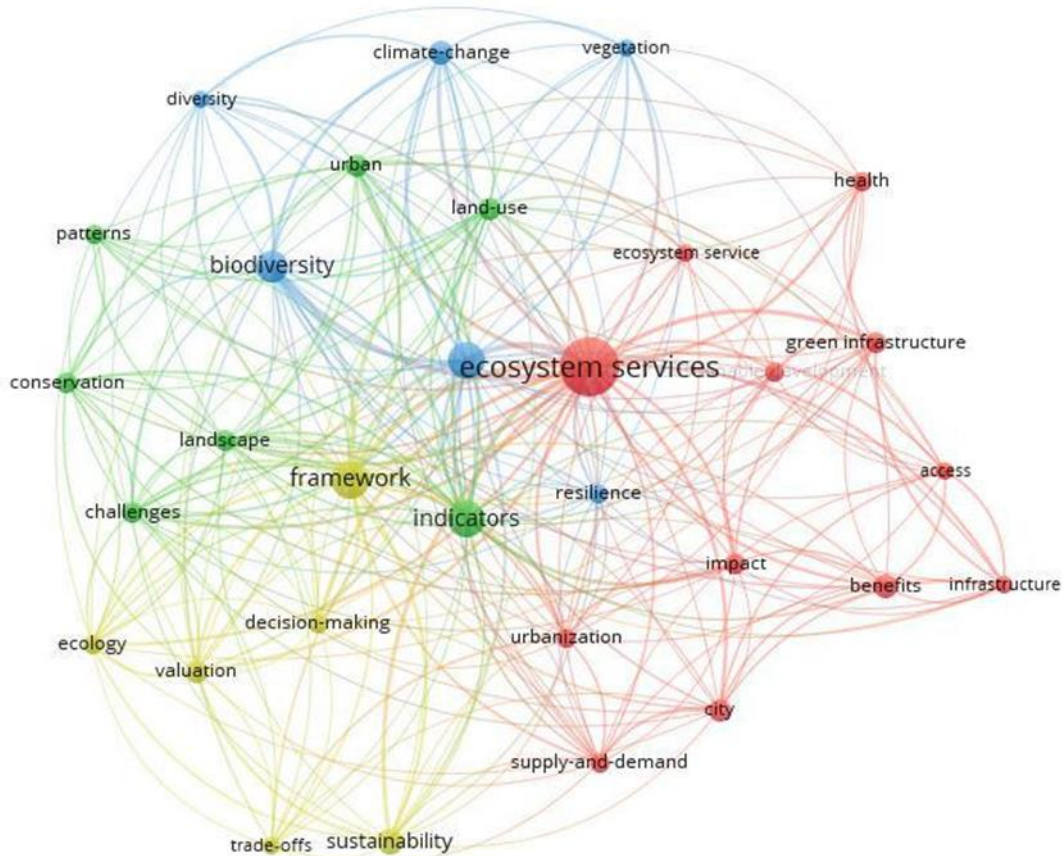
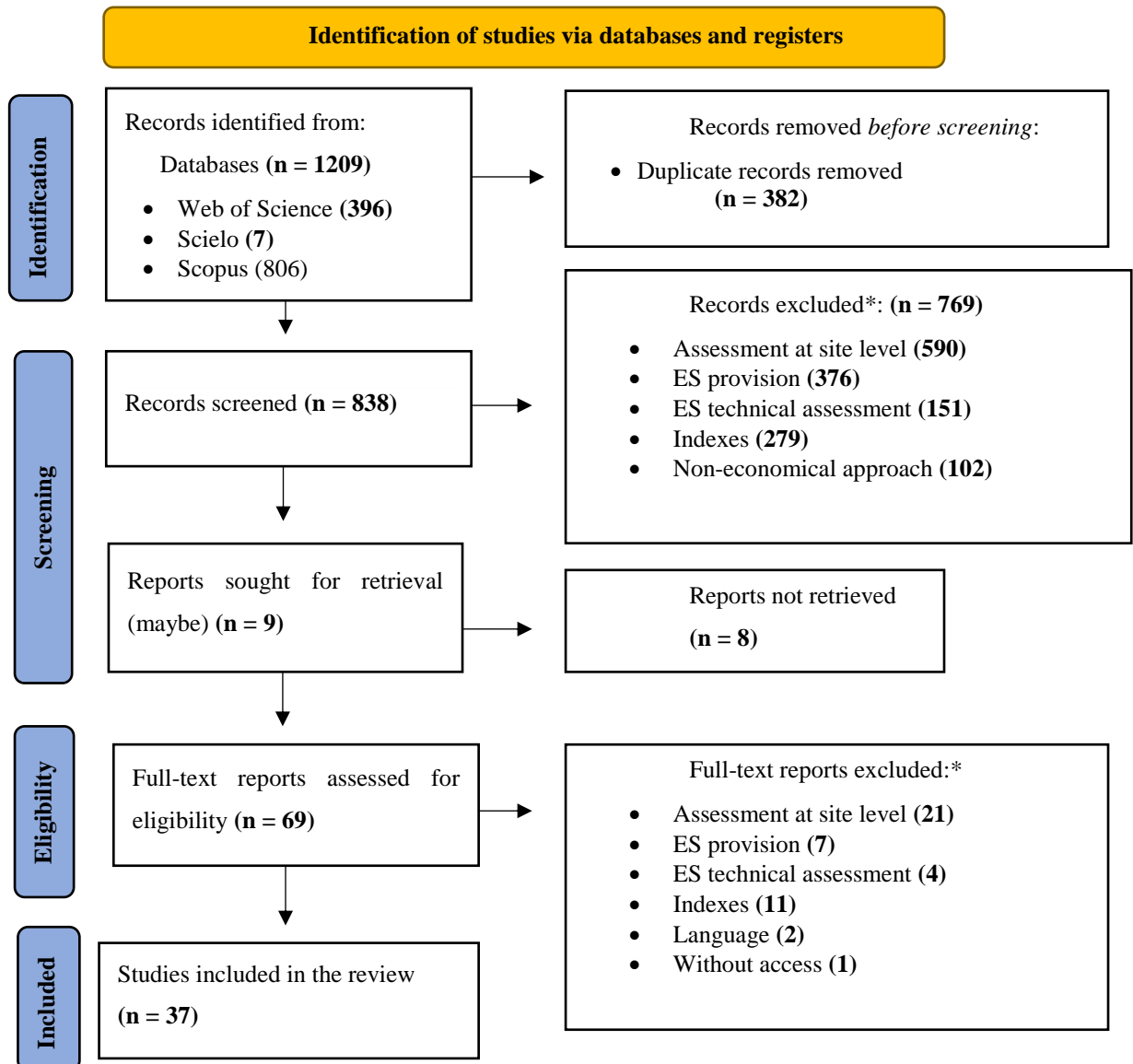


Figure 1. VosViewer Keyword Network Map.

Figura 1. Mapa de rede de coocorrência de palavras-chave no VosViewer.

Source: Own authorship (2024).

Our comprehensive search across databases yielded a total of 1209 records. Following the process of duplicate removal and assessment against inclusion criteria using the Rayyan software, we retained 37 studies for the final analysis, as depicted in Figure 2. Importantly, this figure provides a detailed breakdown, shedding light on the specific exclusion criteria that led to the omission of certain studies, ensuring transparency in our selection process.



* A single study may have reached more than one exclusion criteria.

Figure 2. PRISMA Flow Diagram — Study selection stages on the left, numbers of identified and excluded studies on the right.

Figura 2. Diagrama de fluxo PRISMA — Etapas de seleção do estudo à esquerda, números de estudos identificados e excluídos à direita.

SOURCE: Adapted from PRISMA (2023)

The study's analysis of publication patterns underscores the distinctive focus of this study on composite indicators at the site level, distinguishing it from prior research that explored general knowledge and publication trends in urban ecosystem service assessments (Brzoska and Späße, 2020; Haase et al., 2014; Muñoz-Pacheco and Villaseñor, 2022). Most of the literature consists of journal articles, complemented by two conference papers, a chapter in a series, and an annual congress report. 'Ecosystem Services' emerges as the predominant

publication theme, followed by 'Ecological Indicators' and 'Science of the Total Environment', all of which are published by Elsevier. The alignment of these journals with our search terms underscores their relevance to the study's focal point.

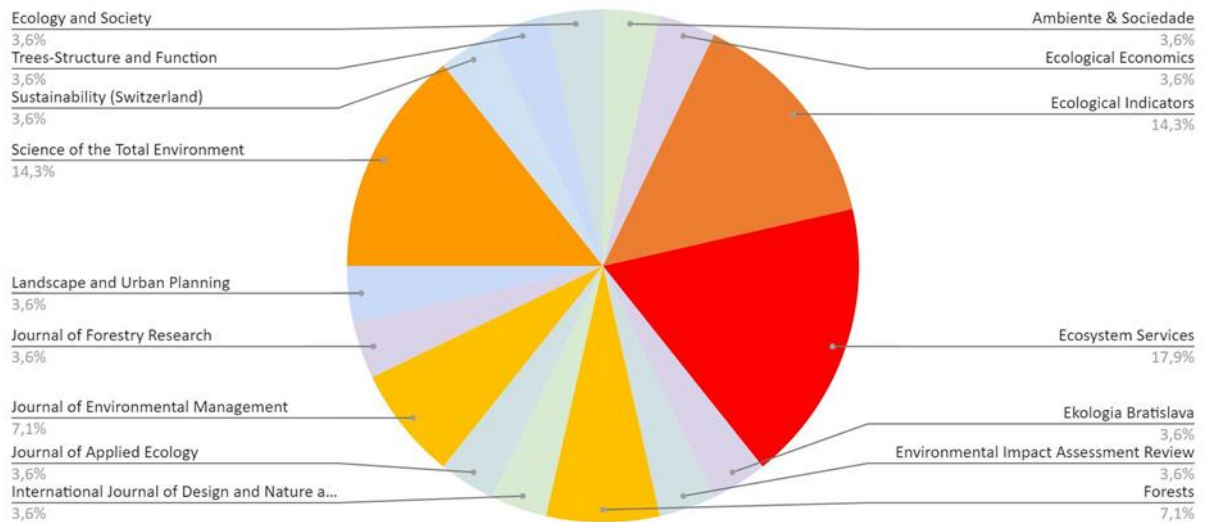


Figure 3. Distribution of Publications in Journals for the Included Studies in the Systematic Review.

Figura 3. Distribuição das Publicações em Revistas dos Estudos Incluídos na Revisão Sistemática.

Source: Own authorship (2024).

A temporal analysis of publication trends, presented in Figure 4, reveals a noteworthy surge in publications during 2021. This surge aligns with the evolving dynamics in the field of ecosystem services, particularly in the context of urban green areas, which Jato-Espino et al. (2023) identify as increasingly significant in contemporary and future urban planning. The increased volume of publications in 2021 can be attributed to two factors: first, an escalated academic interest in exploring the multifunctionality of ecosystem services, in contrast to the previous year's emphasis on single-indicator studies, and second, the potential filling of gaps in multifunctional studies that did not meet all inclusion criteria in other years, now being addressed.

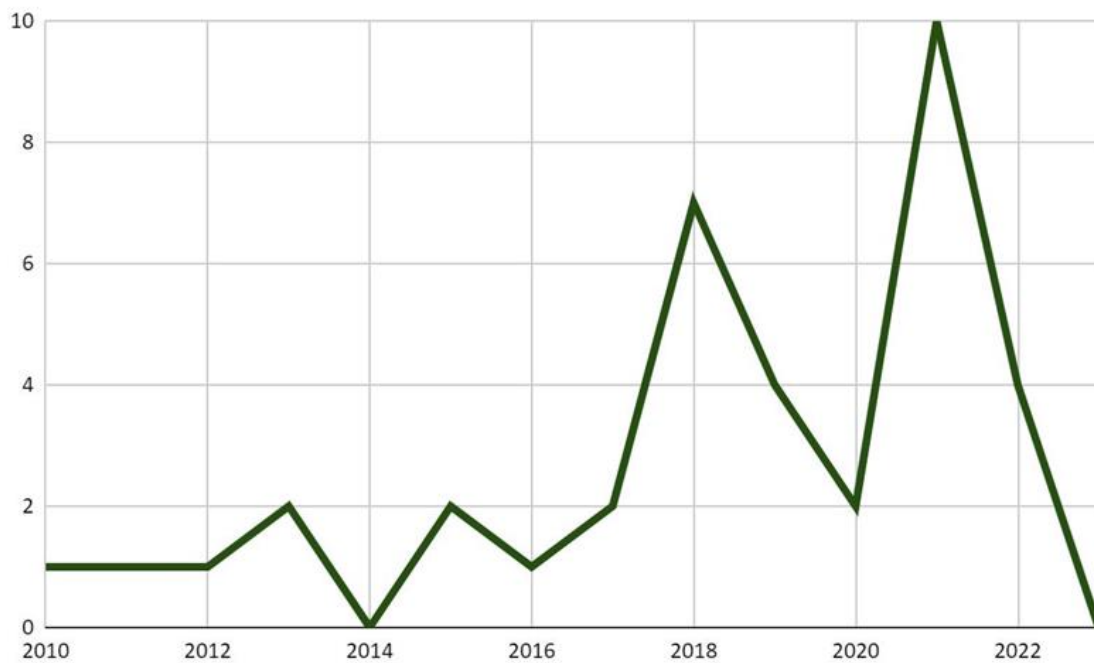


Figure 4. Timeline of publication for Studies Included in the Systematic Review.
 Figura 4. Cronologia de publicação dos estudos incluídos na Revisão Sistemática.
 Source: Own authorship (2024).

In line with the findings of Haase et al. (2014) and Brzoska and Späße (2020), Europe stands out as the leader in the development of composite indicators for ecosystem services, followed by Asia and North America (Figure 5). The prolific contributions from individual countries mirror this trend, with Germany, China, and the United States taking the lead. Notably, the representation of studies is limited in Africa, with Brazil being the sole representative from South America, and New Zealand representing Oceania. A significant portion of studies (23.7%) introduced theoretical protocols without empirical testing, categorizing them as non-empirical.

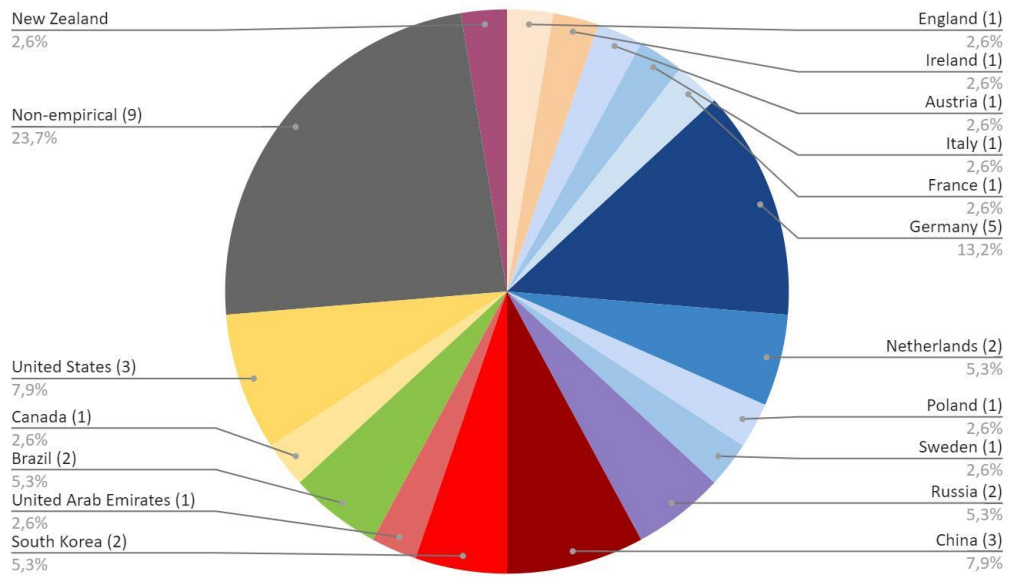


Figure 5. Geographic distribution of study locations by countries.
 Figura 5. Distribuição Geográfica dos Locais dos Estudos por países.
 Source: Own authorship (2024).

We observed an increasing interest in other continents, contrastingly to previous research where European cities dominated (73.3%) as in Brzoska and Späße (2020). However, tropical and developing regions remain underrepresented, indicating a substantial knowledge gap, as highlighted by Brzoska and Späße (2020), Haase et al. (2014), Muñoz-Pacheco and Villaseñor (2022), and Jato-Espino et al. (2023).

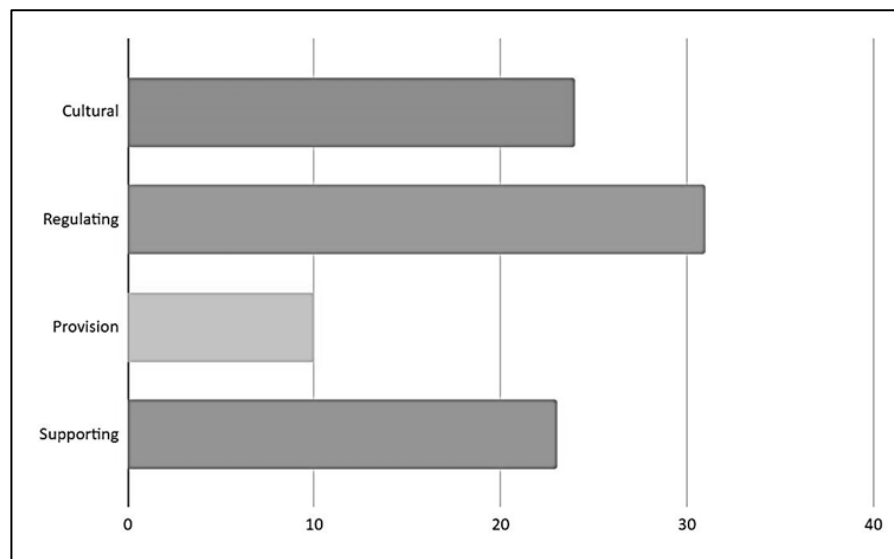


Figure 6: Types of Ecosystem Services Found in the Systematic Literature Review.
 Figura 6: Tipos de serviços ecossistêmicos encontrados na Revisão Sistemática de Literatura.
 Source: Own authorship (2024).

It is essential to clarify that, for consistency and standardized analysis, we adopted the categorization framework established by the Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005) for 'Supporting' services.

Our analysis of ecosystem service categories (Figure 6) reveals a significant focus on 'Regulating' services. The dominance of 'Regulating' services in the literature can be attributed to the presence of urban forests and parks within anthropized environments, where urbanisation amplifies vulnerability to hazardous events (Jato-Espino et al., 2023). Researchers have focused on understanding the roles of these services in mitigating the impacts of climate change, including the control of extreme weather events, reduction of atmospheric and noise pollution, waste hazard mediation, and soil conservation (Sutherland et al., 2018; Jato-Espino et al., 2023).

Regulating services were followed closely by 'Cultural' services, with 'Supporting' services also receiving considerable attention. It is noteworthy that some studies exclusively concentrated on either 'Regulating' or 'Cultural' services. Notably, UGAs play a pivotal role in enhancing public health, a prolific branch of ecosystem services (ES) research, often encompassing terms like 'recreation,' 'physical activity,' 'walking,' and 'sports' (Jato-Espino et al., 2023). Additionally, Cultural ES assessments frequently adopt non-monetary frameworks (Dickinson and Hobbs, 2017), which can impact the number of publications included in this review.

City residents face limited opportunities for nature interaction and the associated benefits, including leisure, education, and contemplation (Dickinson and Hobbs, 2017). Consequently, the findings presented in Figure 6 underscore the significance of urban green areas (UGAs) in comparison to protected areas (PAs), such as National or State Parks (IUCN, 1994), primarily due to the greater accessibility and visitation potential of UGAs.

In contrast, 'Provisioning' services received less attention and were primarily integrated into broader frameworks, making them the least represented category in this review. The finding aligns with other reviews of urban ecosystem service assessments (Brzoska and Späße, 2020; Haase et al., 2014; Muñoz-Pacheco and Villaseñor, 2022). Brzoska and Späße (2020) posit that unlike other ES categories, Provisioning services can be imported into urban areas, diminishing their importance in city contexts. In contrast to Muñoz-Pacheco and Villaseñor's (2022) findings in South America, we did not observe a shortage of studies encompassing Supporting services. Some authors integrate Supporting and Regulating services within the same category, following the CICES framework, potentially leading to misinterpretations.

In the review, while some studies broadly define UGAs as urban green structures, urban vegetation, or urban green infrastructures (Brzoska and Späße, 2020; Muñoz-Pacheco and Villaseñor, 2022), others focus primarily on parks, often exclusively (Muñoz-Pacheco and Villaseñor, 2022).

Various types of UGAs were assessed (Figure 7). Some studies concentrated on assessing individual UGA types, while others evaluated multiple UGA types to compare their ES delivery. Nine studies neither empirically tested their indices nor specified a particular UGA for testing. Seven studies tested their indices across multiple UGA types. Among UGAs, urban parks were the most frequently assessed, followed by urban forests and gardens, which encompass public gardens, allotment gardens, or common gardens.

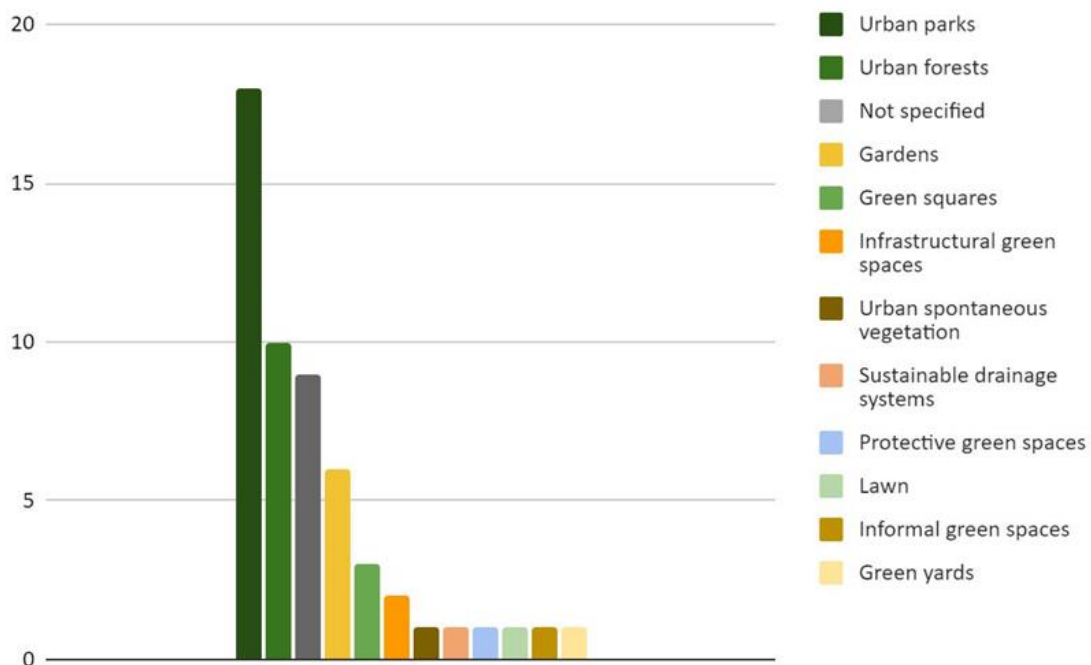


Figure 7. Types of green areas empirically assessed by the authors of articles included in the systematic literature review.

Figura 7. Tipos de áreas verdes avaliadas empiricamente pelos autores dos artigos incluídos na Revisão Sistemática de Literatura.

Source: Own authorship (2024).

Urban parks, vital elements of landscape urbanism and recreational spaces, receive considerable attention in urban studies, possibly due to their standardized nomenclature, which is characterized by extensive greenery and designated public use areas. These attributes are of utmost importance in urban environments. However, it is worth noting that within the same study, different definitions of urban parks may coexist, as exemplified by Ungaro et al. (2022),

who categorized urban parks based on land cover and urban soil types, highlighting variations in vegetation type, density, and the presence of amenities such as playgrounds or walkways.

Many excluded studies focused on landscape ES provision. For instance, Alam et al. (2015) proposed a composite indicator for urban ecosystem services, yet their tested indicators were limited to landscape metrics. Typically, authors rely on spatial proxy methods to estimate ES capacities, rather than collecting primary data through field observations (Brzoska and Spāge, 2020). While landscape studies are vital, many ES necessitate site-level measurements for accurate assessment.

Regarding framework, we found that only seven studies comprehensively covered all ES categories (Delpy et al., 2021; Gómez-Baggethun and Barton, 2013; Kabisch, 2021; Schram-Bijkerk et al., 2018; Kraemer Charoenkit and Kampanart, 2019; Tudorie et al., 2019; Sikorski et al., 2021). Despite the acknowledged importance of multifunctionality in management, the literature predominantly consists of studies focusing on a single ES category (Jato-Espino et al., 2023).

The diversity in suggested indicators, methodologies, framework structures, and even nomenclature for ES is evident across studies, although certain indicators, such as Leaf Area Index (LAI), are consistently repeated. Standardized models for classifying ES, such as the Millennium Ecosystem Assessment (MEA) and the Common International Classification of Ecosystem Services (CICES), have gained widespread acceptance within the scientific community. Authors are encouraged to adhere to these established nomenclatures to facilitate cross-comparisons. A standardized framework, incorporating comprehensive indicators and detailed methods, should be selected, at least for specific UGA types or regional variations.

Some studies, exemplified by Dong and Liu (2019), proposed numerous indicators and subsets but focused solely on a single ES category, precluding classification as composite indicators.

Studies that merely list possible indicators without establishing comparative classes or field assessment criteria often result in weak and superficial frameworks. Notably, 23.7% of the studies did not empirically test their composite indicators, undermining their reliability. Recognizing that each phytophysiology and socioeconomic region may require specific evaluation criteria, these criteria should be empirically validated. A few studies omitted framework tables and described theoretical indicators within the text, rendering them theoretical rather than practical tools. To enhance clarity, frameworks should always be presented in tables, with further clarifications provided in the text. In contrast, studies like Gómez-Baggethun and Barton (2012) may not conduct empirical tests but present robust

frameworks that include the ES, their descriptions, and numerous indicators or proxies, some of which are only measurable at the site level.

Authors should establish connections between ES provision and the innovations required to achieve it. This guidance can assist urban planners in integrating ES enhancement into infrastructure development routines and utilizing indicators in decision-making (Cortinovis and Geneletti, 2019).

Well-defined and reliable ES indicators serve as valuable urban planning tools. Indicators link ecosystem processes, identify interconnected services, communicate benefits to stakeholders, and support management objectives (Müller and Burkhard, 2012; Samson et al., 2019; Tudorie et al., 2019).

The UGA must be designed to encompass all aspects of ES, and a set of indicators that assesses all aspects at once saves time and money. Multifunctionality reveals synergies among ES and maximizes UGA benefits (Cortinovis and Geneletti, 2019; Jato-Espino, 2023). A holistic approach to ES by municipal urban planners optimizes UGA design for multiple benefits, fostering sustainable cities (Wang and Foley, 2021; Belaire et al., 2022; Chen et al., 2022; Muñoz-Pacheco and Villaseñor, 2022; Jato-Espino, 2023). Managers can assess ES supply, compare UGA strengths and weaknesses, and make informed decisions using a qualified, active, and transparent tool (Andersson-Sköld et al., 2018; Breuste et al., 2013; Nur et al., 2022).

Finally, it is essential to recognize that developing countries are currently in a vulnerable position concerning climate change. Hence, there is an imperative need for these countries to receive more substantial representation regarding the multifunctional aspects of their Urban Green Areas (UGAs). This representation will contribute to the harmonization of socioeconomic development and environmental protection efforts (Jato-Espino et al., 2023).

Our efforts to reduce bias encompassed the inclusion of comprehensive keywords in the search terms; nevertheless, certain terms, such as the ecosystem service categories (Supporting, Regulating, Provisioning, Cultural), were not searched for separately. Furthermore, article selection relied solely on the scientific judgment of a single author, considering articles published in known languages (Portuguese, English, and Spanish), potentially introducing geographical bias. Also, studies not archived in Scopus, Scielo, or Web of Knowledge were not included in this review. Lastly, it is evident that tropical and sub-climate countries lack adequate representation in the literature; given the distinct biodiversity and urban planning models in these regions, authors must address their peculiarities by developing compatible frameworks in future research efforts.

4.4 CONCLUSIONS

The study revealed that empirically tested indexes with indicators for Ecosystem Services (ES) strictly adapted urban green areas are still scarce, especially indexes which address a holistic approach of ES and encompass all four categories. In regard to the empirically tested indexes, the most assessed urban green area type was ‘Urban park’.

Regulating ES were the most prominent among the articles analysed, followed by Cultural and Supporting services in similar proportions. It is worth highlighting that ES indicators in urban green areas still lack standardization in the scientific community, given the diversity of nomenclatures, methodologies, and assessment frameworks found. However, certain indicators, such as Leaf Area Index (LAI), are frequently encountered.

Lastly, European researchers stand out as leaders, followed by Asian and American researchers. Researchers from (Africa, South America, and Oceania) had little representation, presenting. The development of indicators and empirical testing in different regions, especially in tropical and subequatorial climate countries from South America, and Africa and Oceania, represent opportunities for future studies on the peculiarities of these locations.

4.5 REFERENCES

Alam, M., Dupras, J., Messier, C. A framework towards a composite indicator for urban ecosystem services. **Ecological Indicators**, 60, 38–44. 2016. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.05.035>>. Accessed on: December 01, 2022.

Almeida, C. M. V. B., Mariano, M. V., Agostinho, F., Liu, G. Y., Yang, Z. F., Coscieme, L., Giannetti, B. F. Comparing costs and supply of supporting and regulating services provided by urban parks at different spatial scales. **Ecosystem Services**, 30, 236–247. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.003>>. Accessed on: December 01, 2022.

Andersson-Sköld, Y., Klingberg, J., Gunnarsson, B., Cullinane, K., Gustafsson, I., Hedblom, M., Knez, I., Lindberg, F., Ode Sang, Å., Pleijel, H., Thorsson, P., & Thorsson, S. A framework for assessing urban greenery’s effects and valuing its ecosystem services. **Journal of Environmental Management**, 205, 274–285. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.071>>. Accessed on: December 01, 2022.

Bartesaghi Koc, C., Osmond, P., & Peters, A. Evaluating the cooling effects of green infrastructure: A systematic review of methods, indicators and data sources. **Solar Energy**, 166,

486–508. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.03.008>>. Accessed on: December 01, 2022.

Belaire, J. A., Higgins, C., Zoll, D., Lieberknecht, K., Bixler, R. P., Neff, J. L., Keitt, T. H., Jha, S. Fine-scale monitoring and mapping of biodiversity and ecosystem services reveals multiple synergies and few tradeoffs in urban green space management. **Science of the Total Environment**, 849, 157801. 2022. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157801>>. Accessed on: December 01, 2022.

Breuste, J., Schnellinger, J., Qureshi, S., Faggi, A. M. Urban Ecosystem services on the local level: Urban green spaces as providers. **Ekologia**, 32(3). 2013. Available at: <<https://doi.org/10.2478/eko-2013-0026>>. Accessed on: December 01, 2022.

Brzoska, P., Grunewald, K., Bastian, O. A multi-criteria analytical method to assess ecosystem services at urban site level, exemplified by two German city districts. **Ecosystem Services**, 49, 101268. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101268>>. Accessed on: December 01, 2022.

Brzoska, P., Spāģe, A. From City- to Site-Dimension: Assessing the Urban Ecosystem Services of Different Types of Green Infrastructure. **Land**, 9(5), 150. 2020. Available at: <<https://doi.org/10.3390/land9050150>>. Accessed on: December 01, 2022.

Charoenkit, S., Piyathamrongchai, K. A review of urban green spaces multifunctionality assessment: A way forward for a standardized assessment and comparability. **Ecological Indicators**, 107, 105592. 2019. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105592>>. Accessed on: December 01, 2022.

Chee, Y. E. An ecological perspective on the valuation of ecosystem services. **Biological Conservation**, 120(4), 549–565. 2004. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.03.028>>. Accessed on: December 01, 2022.

Chen, D., Zhao, Q., Jiang, P., Li, M. Incorporating ecosystem services to assess progress towards sustainable development goals: A case study of the Yangtze River Economic Belt, China. **Science of the Total Environment**, 806, 151277. 2022. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151277>>. Accessed on: December 01, 2022.

Cheng, X., Van Damme, S., Uyttenhove, P. A review of empirical studies of cultural ecosystem services in urban green infrastructure. **Journal of Environmental Management**, 293, 112895. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112895>>. Accessed on: December 01, 2022.

Cochran, F., Daniel, J., Jackson, L., Neale, A. Earth observation-based ecosystem services indicators for national and subnational reporting of the sustainable development goals. **Remote Sensing of Environment**, 244, 111796. 2020. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111796>>. Accessed on: December 01, 2022.

Cortinovis, C., Geneletti, D. A framework to explore the effects of urban planning decisions on regulating ecosystem services in cities. **Ecosystem Services**, 38(100946), 100946. 2019. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2019.100946>>. Accessed on: December 01, 2022.

Cortinovis, C., Geneletti, D., Hedlund, K. Synthesizing multiple ecosystem service assessments for urban planning: A review of approaches, and recommendations. **Landscape and Urban Planning**, 213, 104129. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104129>>. Accessed on: December 01, 2022.

Daniels, B., Zaunbrecher, B. S., Paas, B., Ottermanns, R., Ziefle, M., Roß-Nickoll, M. Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective. **Science of the Total Environment**, 615, 1364–1378. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.167>>. Accessed on: December 01, 2022.

DELPY, Fabian; ZARI, Maibritt Pedersen; JACKSON, Bethanna; BENAVIDEZ, Rubianca; WESTEND, Thomas. Ecosystem Services Assessment Tools for Regenerative Urban Design in Oceania. **Sustainability**, [S.L.], v. 13, n. 5, p. 2825, 5 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su13052825>.

Depietri, Y., Ghermandi, A., Campisi-Pinto, S., Orenstein, D. E. Public participation GIS versus geolocated social media data to assess urban cultural ecosystem services: Instances of complementarity. **Ecosystem Services**, 50, 101277. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101277>>. Accessed on: December 01, 2022.

Derkzen, M. L., van Teeffelen, A. J. A., Verburg, P. H. REVIEW: Quantifying urban ecosystem services based on high-resolution data of urban green space: an assessment for

Rotterdam, the Netherlands. **Journal of Applied Ecology**, 52(4), 1020–1032. 2015. Available at: <<https://doi.org/10.1111/1365-2664.12469>>. Accessed on: December 01, 2022.

Dickinson, D. C., Hobbs, R. J. Cultural ecosystem services: Characteristics, challenges and lessons for urban green space research. **Ecosystem Services**, 25, 179–194. 2017. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.04.014>>. Accessed on: December 01, 2022.

Dobbs, C., Escobedo, F. J., Zipperer, W. C. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. **Landscape and Urban Planning**, 99(3-4), 196–206. 2011. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.11.004>>. Accessed on: December 01, 2022.

Dong, Y., Liu, H. Reframing the index system of urban green space planning toward public health in China: problems and solutions, **Cities & Health**, 5:3, 256-275, 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1080/23748834.2018.1544329>>. Accessed on: December 01, 2022.

Engström, G., Gren, A. Capturing the value of green space in urban parks in a sustainable urban planning and design context: pros and cons of hedonic pricing. **Ecology and Society**, 22(2). 2017. Available at: <<https://doi.org/10.5751/es-09365-220221>>. Accessed on: December 01, 2022.

Gaudereto, G. L., Gallardo, A. L. C. F., Ferreira, M. L., Nascimento, A. P. B. D., Mantovani, W. Evaluation of ecosystem services and management of urban green areas: promoting healthy and sustainable cities. **Ambiente & Sociedade**, 21. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0120r3vu1814td>>. Accessed on: December 01, 2022.

Gómez-Baggethun, E., Barton, D. N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. **Ecological Economics**, 86, 235–245. 2013. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>>. Accessed on: December 01, 2022.

Hyun, J., Kim, Y. J., Kim, A., Plante, A. F., Yoo, G. Ecosystem services-based soil quality index tailored to the metropolitan environment for soil assessment and management. **Science of the Total Environment**, 820, 153301. 2022. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153301>>. Accessed on: December 01, 2022.

Jato-Espino, D., Capra-Ribeiro, F., Moscardó, V., Bartolomé del Pino, L. E., Mayor-Vitoria, F., Gallardo, L. O., ... Dietrich, K. A systematic review on the ecosystem services

provided by green infrastructure. **Urban Forestry & Urban Greening**, 86(127998), 127998. 2023. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>>. Accessed on: December 01, 2022.

Kelly, J. R., Harwell, M. A. Indicators of ecosystem recovery. **Environmental Management**, 14(5), 527–545. 1990. Available at: <<https://doi.org/10.1007/bf02394708>>. Accessed on: December 01, 2022.

Kim, D., Son, Y. Differences in Perceptions of Naturalness among Urban Park User Groups in Seoul. **International Review for Spatial Planning and Sustainable Development**, 10(4), 112–129. 2022. Available at: <https://doi.org/10.14246/irspsd.10.4_112>. Accessed on: December 01, 2022.

Kim, J., Son, Y. Assessing and mapping cultural ecosystem services of an urban forest based on narratives from blog posts. **Ecological Indicators**, 129, 107983. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107983>>. Accessed on: December 01, 2022.

Kraemer, R., Kabisch, N. Parks in context: advancing citywide spatial quality assessments of urban green spaces using fine-scaled indicators. **Ecology and Society**, 26(2). 2021. Available at: <<https://doi.org/10.5751/es-12485-260245>>. Accessed on: December 01, 2022.

La Rosa, D., Spyra, M., Inostroza, L. Indicators of Cultural Ecosystem Services for urban planning: A review. **Ecological Indicators**, 61, 74–89. 2016. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.028>>. Accessed on: December 01, 2022.

Lamarque, P., Quétier, F., Lavorel, S. The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. **Comptes Rendus Biologies**, 334(5-6), 441–449. 2011. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.crv.2010.11.007>>. Accessed on: December 01, 2022.

Locosselli, G. M., Buckeridge M. S. The science of urban trees to promote well-being. **Trees**, 37, 1–7. 2023. Available at: <<https://doi.org/10.1007/s00468-023-02389-2>>. Accessed on: December 01, 2022.

Logsdon, R. A., Chaubey, I. A quantitative approach to evaluating ecosystem services. **Ecological Modelling**, 257, 57–65. 2013. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2013.02.009>>. Accessed on: December 01, 2022.

Mak, C., Scholz, M., James, P. Sustainable drainage system site assessment method using urban ecosystem services. **Urban Ecosystems**, 20(2), 293–307. 2016. Available at: <<https://doi.org/10.1007/s11252-016-0593-6>>. Accessed on: December 01, 2022.

Matasov, V., Belelli Marchesini, L., Yaroslavtsev, A., Sala, G., Fareeva, O., Seregin, I., Castaldi, S., Vasenev, V., Valentini, R. IoT Monitoring of Urban Tree Ecosystem Services: Possibilities and Challenges. **Forests**, 11(7), 775. 2020. Available at: <<https://doi.org/10.3390/f11070775>>. Accessed on: December 01, 2022.

Müller, F., Burkhard, B. The indicator side of ecosystem services. **Ecosystem Services**, 1(1), 26–30. 2012. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.06.001>>. Accessed on: December 01, 2022.

Muñoz-Pacheco, C. B., & Villaseñor, N. R. (2022). Urban Ecosystem Services in South America: A Systematic Review. 14(17), 10751–10751. <https://doi.org/10.3390/su141710751>

Nur, I. J., Sarker, M. H., Hossain, T., Ferdous, T., Rahman, S., Iqbal, B., Helal, Md. G. J., Hossain, Md. F. Evaluation of ecosystem services of rooftop gardens in Dhaka, Bangladesh. **Current Research in Environmental Sustainability**, 4, 100166. 2022. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.crsust.2022.100166>>. Accessed on: December 01, 2022

Orta-Ortiz, M. S., Geneletti, D. What variables matter when designing nature-based solutions for stormwater management? A review of impacts on ecosystem services. **Environmental Impact Assessment Review**, 95, 106802. 2022. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106802>>. Accessed on: December 01, 2022.

Pace, R., Biber, P., Pretzsch, H., Grote, R. Modeling Ecosystem Services for Park Trees: Sensitivity of i-Tree Eco Simulations to Light Exposure and Tree Species Classification. **Forests**, 9(2), 89. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.3390/f9020089>>. Accessed on: December 01, 2022.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., & McGuinness, L. A. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. **British Medical Journal**, 372(71). 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1136/bmj.n71>>. Accessed on: December 01, 2022.

Pakzad, P. and Osmond, P. Developing a sustainability indicator set for measuring green infrastructure performance. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 216 68 – 79. 2016. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.009>>. Accessed on: December 01, 2022.

Pesche, D., Philippe Méral, Hrabanski, M., Bonnin, M. Ecosystem Services and Payments for Environmental Services: Two Sides of the Same Coin? **Studies in Ecological Economics**, 67–86. 2012. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-5176-7_4>. Accessed on: December 01, 2022.

Pretzsch, H., Moser-Reischl, A., Rahman, M.A. et al. Towards sustainable management of the stock and ecosystem services of urban trees. From theory to model and application. **Trees**, 37, 177–196. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1007/s00468-021-02100-3>>. Accessed on: December 01, 2022.

PRISMA. PRISMA flow diagram. 2020. Available at: <<http://www.prisma-statement.org/PRISMAStatement/FlowDiagram>>. Accessed on: December 01, 2022.

Ramos, J.S., Rodríguez, C.H. Análisis de servicios ecosistémicos para la configuración de una infraestructura verde en el área metropolitana de Sevilla. **ACE: Architecture, City and Environment**, 16(46). 2021. Available at: <<https://doi.org/10.5821/ace.16.46.9884>>. Accessed on: December 01, 2022.

Rayyan - AI Powered Tool for Systematic Literature Reviews. 2021. Available at: <<https://www.rayyan.ai>>. Accessed on: December 01, 2022.

Robert, A., & Yengué, J. L. What Ideal Green Spaces for the City of Tomorrow, Providing Ecosystem Services? **Procedia Engineering**, 198, 116–126. 2017. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.076>>. Accessed on: December 01, 2022.

Roeland, S., Moretti, M., Amorim, J. H., Branquinho, C., Fares, S., Morelli, F., Niinemets, Ü., Paoletti, E., Pinho, P., Sgrigna, G., Stojanovski, V., Tiwary, A., Sicard, P., & Calfapietra, C. (2019). Towards an integrative approach to evaluate the environmental ecosystem services provided by urban forest. **Journal of Forestry Research**, 30(6), 1981–1996. 2019. Available at: <<https://doi.org/10.1007/s11676-019-00916-x>>. Accessed on: December 01, 2022.

Saisana, M. Composite Indicators - A review. Second Workshop on Composite Indicators of Country Performance, Feb. 26-27th 2004 OECD, Paris. 2004. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/267986167_Composite_Indicators_-_A_review >. Accessed on: December 01, 2022.

Schram-Bijkerk, D., Otte, P., Dirven, L., Breure, A. M. Indicators to support healthy urban gardening in urban management. **Science of the Total Environment**, 621, 863–871. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.160>>. Accessed on: December 01, 2022.

Sikorski, P., Gawryszewska, B., Sikorska, D., Chormański, J., Schwerk, A., Jojczyk, A., Ciężkowski, W., Archiciński, P., Łepkowski, M., Dymitryszyn, I., Przybysz, A., Wińska-Krysiak, M., Zajdel, B., Matusiak, J., & Łaszkiwicz, E. The value of doing nothing – How informal green spaces can provide comparable ecosystem services to cultivated urban parks. **Ecosystem Services**, 50, 101339.2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101339>>. Accessed on: December 01, 2022.

Silva, A. L., Ribeiro, A. Í., Longo, R. M. Tools for prioritizing Ecosystem Services provided by fragments forest in the context of cities. **Ambiente & Sociedade**, 24. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200012r1vu202112ao>>. Accessed on: December 01, 2022.

Song, P., Kim, G., Mayer, A., He, R., & Tian, G. Assessing the Ecosystem Services of Various Types of Urban Green Spaces Based on i-Tree Eco. **Sustainability**, 12(4), 1630. 2020. Available at: <<https://doi.org/10.3390/su12041630>>. Accessed on: December 01, 2022.

Structure of CICES |. (n.d.). Retrieved August 17, 2023. Available at: <<https://cices.eu/cices-structure> >. Accessed on: December 01, 2022.

Sutherland, I. J., Villamagna, A. M., Dallaire, C. O., Bennett, E. M., Chin, A. T. M., Yeung, A. C. Y., ... Cormier, R. (2018). Undervalued and under pressure: A plea for greater attention toward regulating ecosystem services. **Ecological Indicators**, 94, 23–32. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.06.047>>. Accessed on: December 01, 2022.

Szücs, L., Anders, U., & Bürger-Arndt, R. Assessment and illustration of cultural ecosystem services at the local scale – A retrospective trend analysis. **Ecological Indicators**, 50, 120–134. 2015. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.015>>. Accessed on: December 01, 2022.

Tancoigne, E., Barbier, M., Cointet, J.-P., & Richard, G. The place of agricultural sciences in the literature on ecosystem services. **Ecosystem Services**, 10, 35–48. 2014. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.004>>. Accessed on: December 01, 2022.

Tudorie, C. M., Gielen, E., Vallés-Planells, M., Galiana, F. Urban green indicators: a tool to estimate the sustainability of our cities. **International Journal of Design & Nature and Ecodynamics**, 14(1), 19–29. 2019. Available at: <<https://doi.org/10.2495/dne-v14-n1-19-29>>. Accessed on: December 01, 2022.

Ungaro, F., Maienza, A., Ugolini, F., Lanini, G. M., Baronti, S., Calzolari, C. Assessment of joint soil ecosystem services supply in urban green spaces: A case study in Northern Italy. **Urban Forestry & Urban Greening**, 67, 127455. 2022. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127455>>. Accessed on: December 01, 2022.

United Nations. (2022). Goal 11 | Department of Economic and Social Affairs. United Nations; United Nations. 2022. Available at: <<https://sdgs.un.org/goals/goal11>>. Accessed on: December 01, 2022.

van Oorschot, J., Sprecher, B., van 't Zelfde, M., van Bodegom, P. M., & van Oudenhoven, A. P. E. Assessing urban ecosystem services in support of spatial planning in the Hague, the Netherlands. **Landscape and Urban Planning**, 214, 104195. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104195>>. Accessed on: December 01, 2022.

Veerkamp, C. J., Schipper, A. M., Hedlund, K., Lazarova, T., Nordin, A., Hanson, H. I. (2021). A review of studies assessing ecosystem services provided by urban green and blue

infrastructure. **Ecosystem Services**, 52, 101367. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101367>>. Accessed on: December 01, 2022.

Wang, J., Foley, K. Assessing the performance of urban open space for achieving sustainable and resilient cities: A pilot study of two urban parks in Dublin, Ireland. **Urban Forestry & Urban Greening**, 62, 127180. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127180>>. Accessed on: December 01, 2022.

Westfall, J. A., Henning, J. G., Edgar, C. B. Urban tree measurement variability and the contribution to uncertainty in estimates of ecosystem services. **Urban Forestry & Urban Greening**, 64, 127302. 2021. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127302>>. Accessed on: December 01, 2022.

Yang, Q., Liu, G., Casazza, M., Campbell, E. T., Giannetti, B. F., Brown, M. T. Development of a new framework for non-monetary accounting on ecosystem services valuation. **Ecosystem Services**, 34, 37–54. 2018. Available at: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.09.006>>. Accessed on: December 01, 2022.

Zhao, L. Environmental ecosystem services assessment based on urban green infrastructure structure indicators with case study in Shanghai. *E3S Web of Conferences*, 136, 03003. 2019. Available at: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913603003>>. Accessed on: December 01, 2022.

Somente quando for cortada a última árvore, pescado o último peixe, e poluído o último rio, que as pessoas vão perceber que não podem comer dinheiro.”

(Provérbio Indígena)

5 ARTIGO 2: ECOSYSTEM SERVICES ASSESSMENT IN URBAN GREEN AREAS AND URBAN FORESTS - RAPID ASSESSMENT PROTOCOL FOR CITIES

AVALIANDO SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM ÁREAS VERDES E FLORESTAS URBANAS – UM PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA PARA CIDADES

ABSTRACT

Urban planners must have a tool to communicate stakeholders the benefits of green spaces in cities. Indicators ought to be economic feasible and easily understandable, within an ES multidimensional perspective. This study proposes an instrument that assesses the quality of ecosystem services (ES) supply in urban green areas (UGA), evaluating the weaknesses and strengths of each area, quickly, simply and still sensitively. We chose sensitive and application-friendly indicators, based on their applicability in Brazilian reality, in a forest-savannah ecotone (Atlantic Forest and Cerrado). We ranked the indicators in four grades representing the ES supply in each area, from extremely unsatisfactory to extremely satisfactory conditions. After tests in different UGA, the protocol was calibrated, and indicators were adjusted to urban context and biome specificities. We present a calibrated and ready-to-use protocol to assess ES in UGA. The protocol assesses: five Cultural services with eight indicators, two Provisioning services with two indicators, four Regulating services with five indicators, and three Supporting services with three indicators. We included qualitative and quantitative indicators to comprehensively assess complex areas. The protocol contemplated all ES categories in order to respond to the different needs of UGA management. Several indicators were tailored to urban contexts and local scale. Cities may use this comprehensive list of ES indicators, already adapted for urban context, as an inspirational checklist for describing their UGA weaknesses and strengths.

Keywords: *urban green area, urban green solution, green infrastructure, ecosystem services framework, composite indicators.*

RESUMO

Planejadores urbanos devem ter uma ferramenta que comunique aos tomadores de decisões os benefícios dos espaços verdes nas cidades. Os indicadores devem ser economicamente viáveis e facilmente compreendidos, dentro de uma perspectiva multidimensional de SE. Este estudo propõe um instrumento que avalie a qualidade do

fornecimento de serviços ecossistêmicos (SE) em áreas verdes urbanas (AVU), avaliando pontos fortes e fracos de cada área, de forma rápida, simples, mas ainda assim sensível. Escolhemos indicadores sensíveis e de fácil uso, baseados na aplicabilidade na realidade brasileira, em um ecótono de floresta e savana (Mata Atlântica e Cerrado). Classificamos os indicadores em quatro notas que representavam o fornecimento de SE em cada área, de condições extremamente insatisfatórias até extremamente satisfatórias. Após testes em diferentes AVU, o protocolo foi calibrado, e os indicadores foram ajustados para um contexto urbano e para especificidades do bioma. Apresentamos um protocolo calibrado e pronto para uso para avaliar SE em AVU. O protocolo avalia: cinco serviços culturais com oito indicadores, dois serviços de provisão com dois indicadores, quatro serviços de regulação com cinco indicadores, e três serviços de suporte com três indicadores. Incluímos indicadores qualitativos e quantitativos para avaliar áreas complexas de forma completa.

O protocolo contemplou todas as categorias de SE, de forma a atender as diferentes necessidades da administração de AVU. Diversos indicadores foram ajustados para o contexto urbano e escala local. Cidades podem usar esta abrangente lista de indicadores de SE, já adaptados para o contexto urbano, como um checklist inspiracional para descrever as fraquezas e forças de suas AVU.

Palavras-chave: área verde urbana, solução verde urbana, infraestrutura verde, índice de serviços ecossistêmicos, indicadores compostos.

5.1 INTRODUCTION

Accelerated population growth results in small and sparse green areas, with lesser quality (Shanahan et al., 2017). This process fragments natural environments, reduces biodiversity, creates a tension between urban expansion and nature conservation, and consequently leads to an ‘extinction of nature experience’ (Botzat et al., 2016; Calderón-Contreras and Quiroz-Rosas, 2017; Sandifer et al., 2015). Nevertheless, urbanisation can also be an opportunity to manage ecosystems closely (Schewenius et al., 2014).

When ecosystems are healthy, they deliver benefits, called ecosystem services (ES), which directly affect human well-being (MEA, 2005). Ecosystem services are clustered in four categories: Provisioning (e.g. materials as food and water), Regulating (e.g. climate or water regulation), Supporting (biogeochemical cycles maintenance) and Cultural (non-material benefits) (MEA, 2005).

In practice, conservation judgment relies on human values more than on scientific studies about biodiversity threats; therefore, an ES focus provides the scientific community an

assertion to base conservation decisions (Mace et al., 2012). The human well-being argument persuades more; hence, it helps to validate public policies.

The urban perspective must be adopted, since people are prone to value more something usable in their day-to-day lives, and near to their homes. This perspective also claims urgency, since cities already face ES loss consequences, such as heat islands and atmospheric pollution.

Nevertheless, urban green areas (UGA) differ among each other. Their heterogenous characteristics reflects on the ES delivery for each category. Hence, is pertinent to construct an instrument, such as a composite indicator or protocol, which assesses the ES supply in each area, according to its ecologic and social characteristics.

Studies have analysed trends in ES research (Haase et al., 2014; Schewenius et al., 2014; Botzat et al., 2016; Kleinschoth and Kowarik, 2020; Brzoska and Späße, 2020; Veerkamp et al., 2021, Muñoz-Pacheco and Villaseñor, 2022; Jato-Espino et al., 2023; Barbosa et al., 2024) and evidenced that authors have created and tested some protocols to evaluate urban ES in European, Asian and North American forests; however, those studies highlighted whilst temperate regions are greatly represented, tropical regions have a scarcity of studies e.g. in developing countries of Latin America and Africa. Moreover, Brazil represents South America solo, which contributes to only 5.3% of worldwide studies (Barbosa et al., 2024).

Latin America has a predominantly tropical climate, high endemic biodiversity and high demographic growth; nevertheless, it counts with scarce resources, poorly distributed to the environmental department, and bureaucratic public administration (Sinnott et al., 2010). These climate regions have distinctive socio-ecological systems and need multidimensional studies to fulfil knowledge gaps, in order to promote resilient cities, which are already facing climate changes (Botzat et al, 2016; Haase et al., 2014; Muñoz-Pacheco and Villaseñor, 2022). The Brazilian Constitution provides for the environment and its ES protection (Brasil, 1988); hence, municipal environment secretaries must have the necessary means to evaluate the ES supply in their areas.

City administrations must have the means to assess green areas' ES supply in order to propose achievable goals and manage these areas with a plan of actions for increasing ES supply (Caprioli et al., 2020). Green areas assessment improves management efficiency, and approximate underdeveloped countries to United Nations' Sustainable Developing Goals, such as '3. Good health and well-being', '11. Sustainable cities and communities', and '15. Life on land' (UN, 2017). Ecosystems manifest their processes and functions (Veerkamp et al., 2021); thus, the expression of potential ES can be measured (Bastian et al., 2013).

Indicators simplify a complex reality into a manageable level; they find patterns and analyse the ecosystems' viability, in order to guide decision-making (Dobbs et al., 2011; Haase et al., 2014). Nonetheless, a study that covers more than one dimension of ES is rare (Haase et al., 2014); most studies focus on a single service, and the methods include less than ten indicators (Charoenkit and Piyathamrongchai, 2019; Barbosa et al., 2024).

Furthermore, monetary indicators predominate, which narrows the human-welfare to mere economic performance (Yang et al., 2018). Also, indicators usually involve spatial proxy methods and secondary data to estimate ES supply capacities, with different approaches assess (Brzoska and Spāge, 2020). They assess regional scales only, which impairs recognising which green infrastructure contributed to determined ecological property (Brzoska et al., 2021; O'Sullivan et al., 2017).

Indicators must measure biophysical traits which assess individual sites, such as single parks, as this local (detailed) scale is directly perceived by residents and allow urban planners to design green infrastructure in details (Brzoska and Spāge, 2020; Brzoska et al. 2021; Cortinovis et al., 2021).

In order to compose a useful urban planning and management tool and communicate stakeholders the benefits of green spaces in urban areas, the unified ES indicators must be accessible, easily understandable and practical (Brzoska et al., 2021; Tudorie et al., 2019), as in a Rapid Assessment Protocol (RAP). A RAP is an instrument designed to measure environmental quality (Guimarães et al., 2021). It gathers several indicators whose standardised evaluation methods identify which areas provide more services and why, transparently, as recommended by Brzoska et al. (2021).

Hence, this study objective was to elaborate an instrument (Rapid Assessment Protocol) to assess ecosystem services in urban green areas.

The proposed instrument must sensitively evaluate weaknesses and strengths of each area, with quick, simple and low-cost indicators. Therefore, a technician of a developing country's Municipal Environment Secretary — as the ones in Brazil — can potentially apply it, with low training levels.

5.2 METHODOLOGICAL PROCEDURES

In this study, a rapid assessment protocol (RAP) was developed to evaluate ecosystem services provided by urban green areas.

The RAP consists of a composite-indicator with application-friendly methodological procedures, represented as indicators, and their respective evaluating classes, represented as

grades. To create the RAP, we followed three steps: indicators selection, protocol construction, and then testing and calibration.

Indicators Selection

To select the indicators, a comprehensive literature review was carried out. Studies utilise diverse metrics, indicators and methodologies to quantify ES in urban green areas (Veerkamp et al., 2021). Therefore, we screened peer-reviewed articles on ISI Web of Knowledge and Google Scholar databases, along with journals linked to environmental indicators, ecosystem services or urban planning. The keywords used for searching were ‘urban ecosystem services’, ‘ecosystem services indicators’ and ‘urban green areas’, along with the corresponding terms in Portuguese and Spanish, since much research conducted in America Latina is written in these languages.

A total of 451 studies were selected and screened. In addition, as much information about green areas administration is published in non-scientific literature, we also analysed grey literature and, if available, consulted its scientific references within. All indicators were listed and analysed.

Tools must be adapted to local context, and their construction considers the expertise required, the affordability, and the scalability needed (Almeida et al., 2018; Delpy et al., 2021). Therefore, to apply in Brazilian urban areas, in a low-budget scenario, indicators inclusion criteria to the official list were as follows:

Does the indicator...

- i. Represent a relevant ES according to MEA (2005)?
- ii. Is low-cost and easily-applicable?
- iii. Apply to urban context?
- iv. Provide biotic, abiotic and related to human relationship features assessment?
- v. Applies in local scale, with site-specific inputs?

If the studies and their indicators did not attend the inclusion criteria, they were excluded, e.g. if the indicator: (i) is related to service not listed on MEA (2005); (ii) needed laboratory analysis, high-trained personnel, expensive instruments or charged software; (iii) only relates to forest and rural contexts; (iv) only provided monetary or social/perception values; and (v) applies only to regional or less-specific inputs.

Protocol Construction

The protocol construction was carried out from 2020 (preliminary protocol) to 2024 (final protocol), and all ES categories were contemplated in order to respond to the different needs of urban green space management (Gómez-Baggethun and Barton, 2013). We included both qualitative and quantitative indicators to comprehensively assess complex areas (Wang and Foley, 2021).

For each ES included, the protocol contains: its category according to MEA (2005) (Cultural, Supporting, Provisioning and Regulating); indicator(s) and respective descriptors (what is going to be measured) and methodologies; and four classes, representing grades which ranked each ES supply condition. Four-class grades can also be seen in the studies of La Bianca et al. (2018) and Geange et al. (2019).

The classes used the scale ‘I. very unsatisfactory’, for the worst scenario found within the study reality; ‘II. unsatisfactory’; ‘III. satisfactory’; and ‘IV. Very satisfactory’, considered “the best possible scenario for that indicator”. It is possible to adapt each class range to other realities.

In the present study, besides literature, author’s and co-author’s academic education (Architecture and Biology) and previous experiences (Giacon et al., 2022; Cardoso-Leite et al., 2022; Galvani et al., 2020; Mello et al., 2016; Mota et al., 2016) were crucial to establish the intervals which defined each class. Experts opinion, combined to literature consultation, is the most common method to establish intervals amongst classes and respective grades, and does not substantially differ from traditional statistical methods (Burkhard et al., 2014; Campagne et al., 2020).

Quantitative classes were first constructed based on maximum and minimum values found in field and in literature. For example, for ‘Carbon sequestration’, is estimated that, for each hectare of Semideciduous Seasonal Forest (SSF) standing, 108 tC/ha are stored in the aerial part and more 120 tC/ha in the soil (Lemos et al., 2010). Also, Galvani et al. (2020) stated that urban forest remnants with less than 5ha are not able to maintain biotic integrity on the long term; in opposition, remnants with more than 20ha can maintain biotic integrity. Then, we established these values as, respectively, minimum and maximum, and calculated the average between them to establish medium classes values. For fruit trees and flowers, we verified minimum and maximum in field. For percentages as e.g. canopy cover or covered surface, we established minimum values expected for an urban green area; we expect green areas to have a minimum of greenery, as recommended by Mota et al. (2016), otherwise they lose their status.

For qualitative indicators which could not be counted, we established presence and maintenance parameters e.g. for walking trails the parameter was the presence of hazardous stretches: ‘how severe the hazard was, how many hazardous stretches there were in the field, which group of people could not utilise the trail and enjoy the park?’.

Protocol Calibration

A protocol template was elaborated and tested to evaluate the indicators’ sensitivity and adjust the classes. The test was conducted in areas of Sorocaba, a city located at approximately 230° 30’ S and 470° 27’ W in the state of São Paulo, Brazil. Sorocaba has a population of 723,682 inhabitants and its population density is 1608.64/km² (IBGE, 2022). The climate is humid subtropical and its biomes are Atlantic Forest and Cerrado, and an ecotone between them. The city holds more than thirty heterogeneous green areas (Mello et al., 2016).

We created a preliminary protocol (in 2020) based on theoretical key-findings in literature — which stated each service importance. Then, most urban green areas in Sorocaba were visited and checked (approximately 30 areas), in order to check each indicator’s existence, frequency along with its methodology feasibility (economic and temporal) — if it was suitable for urban context, and if the data it conveyed could be easily measured and analysed. After the visits, authors discussed if indicators had to be adapted, excluded or maintained.

We found that all indicators classes and methodologies found in literature had to be tailored to attend urban contexts. Therefore, we re-constructed and tailored (2021) the remaining indicators methodologies. Many indicators were commonly cited in literature; nevertheless, they were excluded if proven not-applicable. Then, we established intervals amongst grades, with minimum, medium and maximum values, consonantly with the results obtained with the preliminary protocol.

Next, it was tested again four more times (in 2022 and 2023), after COVID-19 lockdown, along with park’s staff, to test if indicators could be understood and applicable after short instructions.

Finally, (in 2024), classes were refined (final calibration), especially in quantitative indicators, based on the tests conducted in eight selected areas with distinctive characteristics of: vegetation naturalness (natural, exotic or a mix of both), area size (from 1.79 to 60ha), vegetation patches size (from 0.32 to 31ha), and presence (or not) of infrastructure (for e.g. leisure, recreation and sports practice, along with bathrooms and drinking fountains). The areas were public and located within the anthropized matrix.

To avoid bias when calculating the intervals amongst classes, field visits occurred in spring mornings and temperatures were measured within 12:00 PM to 13:00 PM. We validated the necessary equipment is loadable and easily affordable, and the entire field data (for each area) can be collected within an interval of four hours.

For indicators which require land cover assessment, we chose simple indicators, attended by Google Earth (GE), which is trustworthy, frequently updated, free for everyone, and requires little training to manipulate tools and interpret results (Leinonen et al., 2018; Pereira et al., 2018; Araújo-Junior et al., 2021).

The final indicators list attended the criteria for relevant and achievable ES indicators recommended by van Oudenhoven et al., 2018 and Dushkova et al., 2021: relevance to local reality, easily comprehended methodology, results credibility and budget-feasibility. The indicators have stable parameters and relate to one or more ES. Likewise, an ES can be assessed by more than one indicator.

5.3 RESULTS

Indicators and ES were selected according to key aspects of relevance found in specialised literature, which are listed on Supplementary Document (Appendix 1). Indicators were adapted to suit prerequisites of the study: low-cost analysis, applicability on urban areas and minimum need of equipment and specialised or charged software. Each area requires a single day of work for data gathering (field visit + geoprocessing in software), plotting and analysis.

The protocol suffered many modifications before its final version, including indicators and services addition, removal, modification and unfolding. Removal, modification and unfolding examples are as follow:

a) Removal: The first protocol had janitorial indicators for Cultural ES (such as existence and maintenance of bathrooms, playgrounds, exercise bars, etc.); however, those indicators only indirectly related to ES, and were removed. Additionally, some services such as “Disease Control” were removed, as indicators could not be transformed in non-expensive and application-friendly tools that still maintained accuracy and reliability for urban contexts.

b) Modification: The first version also had geoprocessing indicators which used ArcGis, which were substituted for QGis (free-of-charge) indicators, and then Google Earth, which was proven the most application-friendly software. Some services as ‘Urban gardens and orchards’ suggested by literature were not found on our reality, and were substituted for ‘Fruit trees’. Also, some classes had to have their intervals adjusted, as ‘attractive animals’ and ‘fruit trees’.

c) Unfolding: Health service indicator included only birds, and was unfolded to embrace water sounds as well. Similarly, education service indicator was unfolded to include interpretative signs along with environmental science tutors; therefore, Environmental Secretariats with less human and financial resources, unable to pay for tutors on urban parks may supplement this demand with fixed environmental education key-aspects related to the park.

The list of ES followed MEA (2005) to avoid misinterpretation; e.g. even though microclimatic amelioration and noise reduction are related to comfort (Cultural ES), they were categorised as Regulating ES, as they belong in this category according to MEA's official list.

The final result (calibrated protocol) is presented in Table 1, and gathered sensitive and application-friendly indicators. Each indicator's classes were calibrated according to the Cerrado-Atlantic Forest ecotone reality and to medium/large cities.

Table 1. Ecosystem Services Assessment Protocol

Service	Indicator	Verify	I	II	III	IV
Cultural						
Aesthetic	Water	Water bodies presence and maintenance	Extremely unsatisfactory condition	Absent/unsatisfactory condition	Satisfactory condition	Extremely satisfactory condition
	Flowers	Quantity (spp. or indiv.) ¹	Up to 9 spp. or 25 indiv.	10-14 spp. or 25-34 indiv.	15-19 spp. or 35-45 indiv.	>20 spp. or >45 indiv.
	Attractive animals	Quantity (birds and butterflies spp.)	Up to 12	12-14	15-18	19+
Comfort	Accessibility	Distance to the nearest residential area; access restriction	More than 500m, restricted	More than 500m, open	Up to 500m, restricted	Up to 500m, open
Recreation	Activities and events	Types and frequency	Absent or without records	1 event type, rare or that happened once	1 event type, traditional (recurrent)	More than one recurrent event and/or at least one frequent event
Health	Walking trails	Presence and maintenance	Mostly in hazardous conditions	Large stretches in hazardous conditions /Absent	Some stretches in hazardous conditions	Without hazardous stretches, adapted to all publics
	Birds (vocalization) and water sounds	Identification of different songs or calls (spp.) (SOC) and flowing water sounds	Up to 7 SOC, without water sounds	More than 7 SOC, without water sounds	Up to 7 SOC, with water sounds	More than 7 SOC, with water sounds
Education	Guided visitation	School-visit frequency and tutors offering help	Absent or without records	Some school visits and/or up to 1 interpretative sign	Frequent school visits and/or up to 2 interpretative signs	Environmental tutors and/or 3 or more interpretative signs
Provisioning						

Food	Fruit trees	Quantity (spp. or indiv.) ¹	Up to 10 spp, 25 indiv	11-14 spp / 26-50 indiv	15-18 spp / 51-75 indiv	19+ spp, 75+ indiv
Water	Springs	Presence and conservation	Degraded	Absent or non-functional	One, regular condition	More than one, regular condition
Regulating						
Global climate mitigation	Carbon sequestration	Forested patches (ha) ³	<5	5.1-12.5	12.6-20	>20
Local climate amelioration	Temperature	Reduction (°C)	Up to 1	>1-2,5	>2,5 - 4	> 4
	Shading	Canopy cover (terrestrial)	Less than 50%	>50-70%	>70 -85%	>85%
Erosion control	Protected soil	Area covered with vegetation	Less than 70%	70-80%	>80-90%	>90%
Flood prevention	Draining soil	Permeable area	Less than 75%	75-85%	>85-95%	>95%
Noise pollution reduction	Noise	Reduction in dB ²	None (up to 20)	Up to 10 dBs (21-30)	11-20 dBs (>30-40)	More than 20 dBs (>40)
Supporting						
Water cycle maintenance	Canopy coverage	Area covered with trees (%)	Less than 40%	40-60%	61-80%	>80%
Primary production						
Nutrient cycling	Litterfall	Area percentage with remaining litterfall under the canopy	Less than 30%	30-70%	>70%, single layer	>70%, overlapping layers (at least 6 cm)

Spp. = number of species, indiv. = number of individuals

¹ When ranks diverge, apply the arithmetic average to the grades (not the interval within each grade), rounding up.

² Without obstacles, 20 dBs was established as the average distance loss. Higher values are due to insertion loss.

³ For SSF.

As the protocol configures a lean tool, printable on a single-page that can be attached to a clipboard and taken to the field, this table details each indicators' guide, including qualitative-indicators classes discrimination. The instruments used (as thermometer and decibelimeter) must be the same for all areas, in order to avoid distortion and bias. Tables 2, 3, 4 and 5 quickly describe the recommended procedures for measuring each of the indicators/descriptors.

Table 2. Selected Cultural ES indicators and evaluation procedures.

Indicator	Indicator's field guide
Water (Aesthetic)	Verify the presence and maintenance of natural water bodies (e.g. rivers, ponds). Under "Extremely Unsatisfactory Conditions" the water body presents no maintenance such as presence of anthropogenic waste, organic matter decomposition, or aquatic macrophytes infestation. On the contrary, "Extremely Satisfactory Conditions" mean those items are almost or completely absent.

<p>Aesthetic (Flowers)</p>	<p>Quantify species and individuals with coloured and “showy” flowers. Trees, bushes, epiphytes and flowerbeds (with at least 0,25m²) can be considered. *</p>
<p>Aesthetic (Attractive animals)</p>	<p>Quantify species of birds and butterflies. Discriminate without a field guide. Do not count too tiny and camouflaged butterfly species or domestic pigeon (<i>Columba livia</i>), as they are not considered aesthetically appealing nor arouse curiosity.</p>
<p>Comfort (Accessibility)</p>	<p><i>Google Earth</i>: Calculate the distance to the nearest residential area. Verify if the UGA has time restrictions and/or visitation limitations.</p>
<p>Recreation (Activities and events)</p>	<p>Verify event signalling <i>in loco</i> (posters, chat with visitors or neighbourhood residents) or virtually (search providers, official and unofficial city’s Instagram, etc.). Events can include a) cultural exhibitions e.g. theatre, music shows, dance; b) celebrations as LGBT parade, Halloween, Carnival; c) organised social encounters; d) fairs e.g. handicraft, puppies-adoption, organic food; and others.</p>
<p>Health (Walking trails)</p>	<p>Verify if walking paths are suitable for exercising, or if they present hazardous stretches (steep, craggy, narrow stretches). Large roots, stones and erosion furrows uneven the ground; then, visitors must maintain body-balance and have strong legs not to stumble. Hazardous stretches may not attend the physically disable, or the elderly, and impair visitation in some areas of the park.</p>
<p>Health (Bird vocalizations and water sounds)</p>	<p>Quantify bird species by distinguishing their vocalizations, either songs or calls. Birds usually sing at breaking dawn and sunset — choose one timeset and delimit a two-hour period to listen. Also listen to running water sounds (presence or absence).</p>
<p>Education (Guided visitation)</p>	<p>Verify school-visitation frequency and/or if there are environmental tutors available to guide the lay public. Also search for different interpretative signs related to environmental education e.g. springs location, list of animals or plants species found in the park, curiosities about recycling near trash bins, curiosities about ecological processes, etc. Do not count signs signalling identity (name of the park), directions or facilities (e.g. bathrooms, drinking fountains).</p>

Table 3. Selected Provisioning ES indicators and evaluation procedures

<p style="text-align: center;">Food (Fruit trees)</p>	<p>Quantify fruit-trees richness and abundance (human consumption only). They will not always carry fruits at the data collection; count the trees with or without fruits. Most fruit tree species planted are exotic. A simple previous training for this indicator may include the region most common fruit trees (natives and exotic) naturally found or planted.</p>
<p style="text-align: center;">Water (Springs)</p>	<p>Verify springs presence and maintenance. If water comes out, it is functional. If it is silted up or polluted (with solid waste, or sewage effluent discharge), it is degraded. A degraded spring, in our study, is considered worse than the absence of springs.</p>

Table 4. Selected Regulating ES indicators and evaluation procedures

<p style="text-align: center;">Global climate mitigation (Carbon sequestration)</p>	<p>Calculate, in absolute values, the canopy cover, in hectares.</p>
<p style="text-align: center;">Local climate amelioration (Temperature)</p>	<p>Assess the temperature with a thermometer.¹ First, measure the temperature inside the tree coverage (patch core); then measure the park surroundings, under direct solar radiation. Subtract the temperature measured inside the patch core from that outside the park. The equipment may be more or less sensitive, but must be able to capture the difference of temperature in and outside the forest patch.</p>
<p style="text-align: center;">Local climate amelioration (Shading)</p>	<p><i>Google Earth:</i> Calculate the percentage of tree canopy coverage relative to the total terrestrial area (water areas excluded).</p>
<p style="text-align: center;">Erosion control (Protected soil)</p>	<p>Assess the percentage of land covered with vegetation (both herbaceous or trees). Soil furrows and ravines may indicate mass movement.</p>
<p style="text-align: center;">Flood prevention (Draining soil)</p>	<p>Assess the percentage of the park (land and water) with permeable (non-sealed) surface. Assess the percentage of the park with permeable land (covered with vegetation) and water, excluding sealed surfaces and non-permeable soils.</p>
<p style="text-align: center;">Noise pollution reduction (Noise)</p>	<p>Measure dBs outside the park, next to the street, and then measure dBs inside a robust vegetation patch, at 25m from the first spot. To eliminate variables, leave a device emitting sound in the amplitude of 70 to 80 dBs</p>

	next to the street. Wait three minutes and register the highest value (as a car honk or a racing lorry) shown in a decibelimeter. ² The difference between the two spots is the value of insertion loss. ³
--	--

¹ In this study, we used a THAL-300 Thermo-hygro-anemo-luxmetre (Instrutherm)

² In this study, we used a mobile phone application named ‘Sound Meter’ as decibelimeter.

³ Insertion loss: noise-levels difference measured before and after a vegetation barrier insertion.

Table 5. Selected Supporting ES indicators and evaluation procedures

Water cycle maintenance (Canopy)	<i>Google Earth</i> : Calculate the percentage of tree canopy coverage relative to the total area (both water and land areas included).
Primary production (Stratification)	Verify the number of strata composing the densest forested patch.
Nutrient cycling (Litterfall)	Assess the percentage of area that maintains litterfall under the tree canopy cover without human management.

Field indicators were calibrated for Spring season tests. To conduct tests in other seasons, classes may need re-calibration, e.g. ‘Aesthetic – Water’ (in Summer, with rains, water may seem clearer and cleaner) or ‘Aesthetic – Flowers’ (different flowers blossom in Summer e.g. *Ceiba speciosa* or in Winter e.g. *Handroanthus impetiginosus*). Seasons do not influence software indicators; therefore, they can be tested separately.

Google Earth is faster and more intuitive than QGis. It has an easy interface to create perimeters, calculate areas size and modify polygons. However, some Environmental Secretariats staff are graduated technicians who may have previous experiences with geoprocessing, and might rather use QGis. QGis is more indicated to organise polygons inside a single UGA, especially for areas which encompass many isolated trees instead of a single ‘solid’ vegetation patch. We also indicate QGis for areas with ‘hollow’ cores in satellite data, representing clearings; in those cases, for greater accuracy, use the ‘Erase’ tool to remove an area inside the polygon.

To apply the protocol, it is recommended to walk inside and around each UGA with comprehensive paths to collect all field data. Then, area’s attributes must be calculated with Google Earth (or QGis). If more than one area is visited, all areas must be visited within a short period of time, to avoid bias in comparisons. After all data gathering, data plot can be performed on Sheets (as Google Sheets, a free-of-charge tool). Finally, results are calculated. Some

services have more than one indicator (e.g. Primary production); the two-indicators arithmetic average must be calculated to define the ES grade. For each ES class (Cultural, Provision, Regulating and Supporting), ES grades (1-4) are summed and then divided by the number of services of the class to have an arithmetic average. Then, each class' arithmetic average are summed, and each UGA can score from 4 points (equivalent to an ES supply of 0%) up to 16 points (equivalent to an ES supply of 100%).

5.4 DISCUSSION

Large green remnants in the middle of urbanised areas are rare. To compare large and small parks we adapted indicators to use relative values (percentages), instead of absolute values (with exception of Carbon Sequestration). Theoretically, larger parks can embrace more plants and animals. Nevertheless, our tests proved that small areas can provide a high supply of services, even more than some larger areas, according to the location and management. Other services are size-neutral, e.g. Accessibility or Education — environmental education offer disregards the area size.

Several studies propose protocols, but do not perform empirical tests to verify reliability. Barbosa et al. (2024) state that each phytophysionomy and socioeconomic region require specific evaluation criteria; therefore, each criterion must be empirically validated, and described on tables to compose a clear and objective practical tool. Also, most indicators found in our literature review were not highly relevant for urban context, similar to the study of La Rosa et al. (2016)

Furthermore, the few multifunctional, expert-based and fine-scale studies present in literature for urban contexts assemble indicators which, although reliable, are unfeasible, as usually demand resources which dissonate with a lack of personnel and of economic reserves (Grunewald et al., 2021). For instance, while Dobbs et al. (2011) selected high-complexity indicators, Brzoska et al. (2021) created a standardized and application-friendly protocol which still needed thoroughly trained personnel.

Even though Sorocaba is located on the richest state of Brazil (São Paulo), has a GDP of R\$36.7 billion and a Human Development Index (HDI) greater than Brazil's average (0,798) (IBGE, 2022; PCS, 2024), and achieved first position on Blue-Green Cities Program ('Programa Município VerdeAzul') for its group (SEMIL, 2023), its Environmental Secretariat still faces spending cuts and human resources deficits, and other medium to large cities Secretariats in Brazil likewise.

Hence, we adjusted all indicators to fit in urban contexts and tailored methodologies to become low-cost and application-friendly and attend the reality of developing countries. Therefore, theoretical studies and indications were transformed in a practical and usable tool.

The protocol herein presented has no high-complexity mathematical calculus, nor need for laboratory analysis, as those indicators require highly trained personnel and elevate analysis costs. During the tests, we were, during some visits, assisted by the park's staff: men within an age range from 50 to 65, with no formal education. They were able to understand the indicators, their methodologies and importance, with little explanation. Therefore, the protocol was proven user-friendly.

Still, indicators assess UGA sensitively, as the appointed technician can analyse details of each area *in loco*. As city residents have their contact with nature at local site, planning decisions improve urban environmental quality better when addressing the local level (Brzoska et al., 2020; La Rosa et al, 2016).

Municipal decision makers can manage the data provided by the proposed protocol with minimal effort and costs, and easily monitor environmental targets progress. According to Matasov et al. (2020), user-friendly technical solutions offered to non-scientific operators permit continuous data collection and monitor policy targets progress.

The instrument provides the means for inter and intra-municipal comparisons. Stakeholders may perform an initial diagnosis to be aware of the UGA weak points, in order to improve and monitor their characteristics. For example: (a) if the 'Cultural – Flowers' indicator "Provisioning – Food" indicator presents a low-score in a specific UGA, managers can plant native ornamental and fruit trees, respectively; (b) if the "Regulating – Flood prevention" service indicator presents a low-score on every UGA in the city, managers may design an UGA ~~with~~ to prevent floods in critical points of the city; or if the (c) springs are found silted up or polluted, managers can build a plan to recover it, and perform contamination tests.

UGA may also perform an important role in climate maintenance, as a consequence of carbon sequestration. Thus, managers may plan areas enlargement or the creation of new areas supported by the argument of climatic and microclimatic maintenance.

However, ES are particular for each context, and it is unwise to assess them with a universal methodology (Burkhard et al., 2014). Hence, cities may use this comprehensive list of ES and indicators, already adapted for urban context, as an inspirational checklist for describing their UGA weaknesses and strengths.

If necessary, Environmental Secretariats technicians may tailor the protocol to attend their own city specificities, according to its natural, economic, political and cultural contexts,

purposes and challenges (Campagne et al., 2020; Caprioli et al., 2020; Dushkova et al., 2021). The indicators 'Fruit trees', 'Flowers', 'Attractive animals' and 'Birds (vocalisation)' may require an adjustment, as they directly relate to the region's specific biodiversity. Indicators can be calibrated by estimating the minimum and maximum values found within areas assessment, and applying the arithmetic average to estimate classes; also, technicians can use an area outside the city as a model to estimate the reference values. Hence, both smaller and larger cities can refer to the same framework, with proper adjustments to their realities.

5.5 CONCLUSIONS

The proposed protocol novelty resides in the synthesis of all ES categories in a single instrument, with indicators tailored to cities with lesser budget and human resources. Technicians can utilise the proposed protocol with minimal training (application with low costs and brief duration). Notwithstanding its feasibility, it demonstrated sensitivity to detect differences among the areas.

The protocol may be adapted to assess other regions with different urbanisation historic and distinctive biomes. We proposed a preliminary framework; to suit the methods to the local reality, technicians can discuss the proposed indicators, remove some and include others. They can also adjust the boundaries that separate the grades (in I, II, III, IV). Therefore, technicians may apply this protocol to compare different ES supply in areas within city limits, or amongst different cities.

5.6 REFERENCES

Almeida, C. M. V. B.; Mariano, M. V.; Agostinho, F.; Liu, G. Y.; Yang, Z. F.; Coscieme, L.; Giannetti, B. F., 2018. Comparing costs and supply of supporting and regulating services provided by urban parks at different spatial scales. *Ecosystem Services*, v. 30, 236–247. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.003>

Araújo Júnior, C. A.; Miranda, P. R. S.; Gonçalves, T. S.; Zuba, S. M.; Castro, R. V. O.; Marcatti, G. E., 2021. Evaluation of optimal ecological tourism routes obtained via Google Earth software in an environmental protection area. *Floresta*, v. 51, (4), 874-882. <https://doi.org/10.5380/rf.v51i4.73731>

Barbosa, V. L. M.; de Faria, L.C.; Cardoso-Leite, E., 2024. Composite indicators for urban ecosystem services at site-level: a systematic literature review. *REVSBAU*, v. 19, (1903), 1-15. <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v19i0.94342>

Bastian, O.; Syrbe, R.-U.; Rosenberg, M.; Rahe, D.; Grunewald, K., 2013. The five pillar EPPS framework for quantifying, mapping and managing ecosystem services. *Ecosystem Services*, v. 4, 15–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2013.04.003>

Botzat, A.; Fischer, L. K.; Kowarik, I., 2016. Unexploited opportunities in understanding liveable and biodiverse cities. A review on urban biodiversity perception and valuation. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, v. 39, 220–233. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.04.008>

BRASIL. Constituição, 1988. Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico.

Brzoska, P.; Späße, A., 2020. From city- to site-dimension: Assessing the urban ecosystem services of different types of green infrastructure. *Land*, v 9, (150), 1–17. <https://doi.org/10.3390/land9050150>.

Brzoska, P.; Grunewald, K.; Bastian, O., 2021. A multi-criteria analytical method to assess ecosystem services at urban site level, exemplified by two German city districts. *Ecosystem Services*, v. 49, 101268. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101268>

Burkhard, B.; Kandziora, M.; Hou, Y.; Müller, F., 2014. Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. *Landscape Online*, v. 34, 1–32. <https://doi.org/10.3097/lo.201434>

Calderón-Contreras, R.; Quiroz-Rosas, L. E., 2017. Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: a case from Mexico City. *Ecosystem Services*, v. 23, 127-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.004>.

Campagne, C. S.; Roche, P.; Müller, F.; Burkhard, B., 2020. Ten years of ecosystem services matrix: Review of a (r)evolution. *One Ecosystem*, v. 5. <https://doi.org/10.3897/oneeco.5.e51103>

Caprioli, C.; Bottero, M.; Mondini, G., 2020. Urban ecosystem services: A review of definitions and classifications for the identification of future research perspectives. In *Computational Science and Its Applications – ICCSA 2020*, 332–344. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58814-4_23

Cardoso-Leite, E.; Arruda, E. M.; Galvani, F. M.; Valente, R. A., 2022. Relationship between forest integrity, drainage headboards and patch-level metrics as subsidy for planning and conservation in fragmented Atlantic Forest areas. *Research, Society and Development*, v. 11(9), e33211931744. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31744>

Charoenkit, S.; Piyathamrongcha, K., 2019. A Review of Urban Green Spaces Multifunctionality Assessment: A Way Forward for a Standardized Assessment and Comparability. *Ecological Indicators*, v. 107, 105592. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105592>.

Cortinovis, C.; Geneletti, D.; Hedlund, K., 2021. Synthesizing multiple ecosystem service assessments for urban planning: A review of approaches, and recommendations. *Landscape and Urban Planning*, v 213, 104129. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104129>.

Delpy, F.; Pedersen Zari, M.; Jackson, B.; Benavidez, R.; Westend, T., 2021. Ecosystem services assessment tools for regenerative urban design in Oceania. *Sustainability*, v. 13, 2825. <https://doi.org/10.3390/su13052825>

Dobbs, C.; Escobedo, F. J.; Zipperer, W. C., 2011. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*, v. 99, (3-4), 196-206. <https://doi:10.1016/j.landurbplan.2010.11.004>

Dushkova, D.; Ignatieva, M.; Konstantinova, S.; Yang, F., 2021. Cultural Ecosystem Services of Urban Green Spaces. How and What People Value in Urban Nature? In *Springer Geography*, 292–318. Cham: Springer International Publishing.

Galvani, F. M.; Graciano-Silva, T.; Cardoso-Leite, E., 2020. Is biotic integrity of urban forests remnants related with their size and shape? *CERNE*, v. 26, (1), 9–17. <https://doi.org/10.1590/01047760202026012674>

Geange, S.; Townsend, M.; Clark, D.; Ellis, J.; Lohrer, A., 2019. Communicating the value of marine conservation using an ecosystem service matrix approach. *Ecosystem Services*, v. 35, 150-163. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.004>

Giacon, V. P.; Valente, R. A.; Cardoso-Leite, E., 2022. Association between urbanization and the biotic integrity of urban forest remnants. *Ambiente & sociedade*, v. 25. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200053r4oa>

Gómez-Baggethun, E.; Barton, D. N., 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, v. 86, 235-245. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>.

Grunewald, K.; Bastian, O.; Louda, J.; Arcidiacono, A.; Brzoska, P.; Bue, M.; Cetin, N.I.; Dworczyk, C.; Dubova, L.; Fitch, A.; Jones, L.; La Rosa, D.; Mascarenhas, A.; Ronchi, S.; Schlaepfer, M.A.; Sikorska, D.; Tezer, A., 2021. Lessons learned from implementing the ecosystem services concept in urban planning. *Ecosystem Services*. V. 49, 101273. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101273>

Guimarães, A.; Rodrigues, A. S. L.; Malafaia, G., 2021. Rapid assessment protocols of rivers as instruments of environmental education in elementary schools. *Ambiente & Água* v. 12, (5), 801-813. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1996>

Haase, D.; Larondelle, N.; Andersson, E.; Artmann, M.; Borgström, S.; Breuste, J.; Gomez-Baggethun, E.; Gren, A.; Hamstead, Z.; Hansen, R., et al., 2014. A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models, and implementation. *Ambio*, v. 43, 413–433. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>

IBGE. Sorocaba (SP), Censo 2022. Gov.br. Retrieved February 6th, 2024, at: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sorocaba.html>

Jato-Espino, D.; Capra-Ribeiro, F.; Moscardó, V.; Bartolomé del Pino, L. E.; Mayor-Vitoria, F.; Gallardo, L. O.; Carraceo, P.; Dietrich, K., 2023. A systematic review on the ecosystem services provided by green infrastructure. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 86, 127998. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.127998>.

Kleinschroth, F.; Kowarik, I., 2020. COVID-19 crisis demonstrates the urgent need for urban greenspaces. *Front. Ecol. Environ*, v. 18, (6), 318–319. <https://doi.org/10.1002/fee.2230>

La Bianca, G.; Tillin, H.; Hodgson, B.; Erni-Cassola, G.; Howell, K.; Rees, S., 2018. Ascension Island- Natural Capital Assessment: Marine ecosystem services report. JNCC; Funded by UK Government, 83 pp

La Rosa, D.; Spyra, M.; Inostroza, L., 2016. Indicators of Cultural Ecosystem Services for urban planning: A review. *Ecological Indicators*, v. 61, 74–89. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.028>

Leinonen, U.; Koskinen, J.; Makandi, H.; Mauya, E.; Käyhkö, N., 2018. Open Foris and Google Earth Engine linking expert participation with natural resource mapping and remote sensing training in Tanzania. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-4/W8, 117–122. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-4-w8-117-2018>

Lemos, A. L. F.; Vital, M. H. F.; Pinto, M. A. C., 2010. As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU. *BNDES Setorial*, 32, 153-192

Mace, G. M.; Norris, K.; Fitter, A. H., 2012. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. *Trends in Ecology and Evolution*, v. 27, (1). <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>

Matasov, V.; Belelli Marchesini, L.; Yaroslavtsev, A.; Sala, G.; Fareeva, O.; Seregin, I.; Castaldi, S.; Vasenev, V.; Valentini, R., 2020. IoT monitoring of urban tree ecosystem

services: Possibilities and challenges. *Forests*, v. 11, (7), 775. <https://doi.org/10.3390/f11070775>

Mello, K.; Toppa, R. H.; Cardoso-Leite, E., 2016. Priority areas for forest conservation in an urban landscape at the transition between Atlantic forest and Cerrado. *CERNE*, v. 22, (3), 277–288. <https://doi.org/10.1590/01047760201622032172>

Millennium Ecosystem Assessment (MEA), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. Copyright, World Resources Institute.

Mota, M. T.; Leite, Cardoso-Leite, E.; Sola, F.; Mello, K., 2016. Categorização da infraestrutura verde do município de Sorocaba (SP) para criação de um sistema municipal integrando espaços livres e áreas protegidas. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, v. 41, 122–140. <https://doi.org/10.5327/z2176-947820160121>

Muñoz-Pacheco, C. B.; Villaseñor, N. R., 2022. Urban Ecosystem Services in South America: a systematic review. *Sustainability*, [S.L.], v. 14, (17), 10751. <http://dx.doi.org/10.3390/su141710751>.

O’Sullivan, O.S.; Holt, A.R.; Warren, P.H.; Evans, K.L., 2017. Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. *J. Environ. Manage.* v. 191, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.062>.

“Programa Cidades Sustentáveis.” n.d. Programa Cidades Sustentáveis. Accessed July 30, 2024. <https://www.cidadessustentaveis.org.br/painelIndicadoresCidade/detalhes/3849>.

Pereira, L. F.; Guimarães, R. M. F.; Oliveira, R. R. M., 2018. Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar usos/coberturas da terra: QGIS e Google Earth Pro. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 3, (3), 250–264. <https://doi.org/10.24221/jeap.3.3.2018.1839.250-264>

Sandifer, P.A.; Sutton-Grier, A.E.; Ward, B.P., 2015. Exploring connections among nature, biodiversity, ecosystem services, and human health and well-being: opportunities to enhance health and biodiversity conservation. *Ecosystem Services*, v. 12, 1–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.12.007>.

Schewenius, M.; McPhearson, T.; Elmqvist, T., 2014. Opportunities for increasing resilience and sustainability of Urban social-ecological systems: insights from the URBES and the cities and biodiversity outlook projects. *Ambio*, v. 43, (4), 434–444. <https://doi.org/10.1007/s13280-014-0505-z>

Shanahan, D. F.; Cox, D. T. C.; Fuller, R. A. R. A.; Hancock, S.; Lin, B. B.; Anderson, K.; Bush, R.; Gaston, K. J., 2017. Variation in experiences of nature across gradients of tree

cover in compact and sprawling cities. *Landscape Urban Planning*, v. 157, 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.07.004>.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística (SEMIL). O Programa VerdeAzul. Accessed July 30, 2024. <https://semil.sp.gov.br/verdeazuldigital>.

Sinnott, E.; Nashat, B.; De la Torre, A., 2010. Natural resources in Latin America and the Caribbean: Beyond booms and busts? The World Bank. <http://dx.doi.org/10.1596/978-0-8213-8482-4>

Tudorie, C. M.; Gielen, E.; Vallés-Planells, M.; Galiana, F., 2019. Urban Green Indicators: A Tool to Estimate the Sustainability of Our Cities. *International Journal of Design & Nature and Ecodynamics: A Transdisciplinary Journal Relating to Nature, Science and the Humanities*, v. 14, (1), 19–29. <https://doi.org/10.2495/dne-v14-n1-19-29>

United Nations. The 17 Sustainable Development Goals. Retrieved February 7, 2024, from <https://sdgs.un.org/goals>

Van Oudenhoven, A.E.; Schröter, M.; Drakou, E.; Geijzendorffer, I.; Jacobs, S.; van Bodegom, P.; Chazee, L.; Czúcz, B.; Grunewald, K.; Lillebø, A.; Mononen, L.; Nogueira, A.A.; Pacheco-Romero, M.; Perennou, C.; Remme, R.; Rova, S.; Syrbe, R.; Tratalos, J.; Vallejos, M.; Albert, C., 2018. Key criteria for developing ecosystem service indicators to inform decision making. *Ecological Indicators*, v. 95, 417–426. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.06.020>

Veerkamp, C. J.; Schipper, A. M.; Hedlund, K.; Lazarova, T.; Nordin, A.; Hanson, H. I., 2021. A review of studies assessing ecosystem services provided by urban green and blue infrastructure. *Ecosystem Services*, v. 52, 101367. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101367>

Wang, J.; and Foley, K., 2021. Assessing the Performance of Urban Open Space for Achieving Sustainable and Resilient Cities: A Pilot Study of Two Urban Parks in Dublin, Ireland. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 62, 127180. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127180>.

Yang, Q.; Liu, G.; Casazza, M.; Campbell, E. T.; Giannetti, B. F.; Brown, M. T. 2018. Development of a new framework for non-monetary accounting on ecosystem services valuation. *Ecosystem Services*, 34, 37–54. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.09.006>

“Nesses tempos de céus de cinzas e chumbos, nós precisamos de árvores desesperadamente verdes.”

(Mario Quintana)

6 ARTIGO 3: OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS OFERECIDOS POR ÁREAS VERDES E FLORESTAS URBANAS EM SOROCABA/SP.

6.1 INTRODUÇÃO

Remanescentes de vegetação são importantes do ponto de vista do bem-estar humano (MEA, 2005) ao fornecer serviços ecossistêmicos, na promoção de desenvolvimento sustentável e recreação (GRACIANO-SILVA, 2016; GAUDERETO, 2018), e também do ponto de vista da conservação, na manutenção dos processos ecológicos (MELLO, 2012). As áreas verdes urbanas são a fonte de contato primário com a natureza para a população que reside em cidades (Dushkova et al., 2021), e permitem um manejo e apreciação destes remanescentes de vegetação de forma mais direta e cotidiana.

As áreas verdes urbanas não apenas mantêm a conectividade entre fragmentos maiores e possibilitam a experimentação da natureza de forma cotidiana, como estão diretamente aliadas a um incremento na qualidade de vida da população e no embelezamento das cidades. Contudo, diferentes áreas verdes urbanas, com atributos distintos, não contribuem de forma semelhante para a conectividade e promoção de bem-estar. É importante diferenciar e classificar as áreas verdes urbanas e avaliar a configuração espacial e atributos de cada uma, pois algumas áreas verdes podem prover diversos serviços em grandes quantidades, mas não outros, e vice-versa (Derkzen et al., 2015).

Existem diversas definições e revisões para o conceito de áreas verdes urbanas, associadas a diversas áreas, desde ecologia, até arquitetura e urbanismo (HILDEBRAND et al., 2002; LOBODA e ANGELIS, 2005). Cada área é criada para atender a um propósito diferente: seja o embelezamento da cidade, o oferecimento de oportunidades de recreação, conservar a biodiversidade, ou aumentar a qualidade ambiental da cidade (Orta-Ortiz and Geneletti, 2022). De fato, as áreas verdes urbanas apresentam diferentes estratégias de manejo, qualidade de infraestrutura, e maior ou menor cobertura arbórea, fatores que refletem na entrega de diferentes tipos de serviços ecossistêmicos.

De forma geral, as áreas verdes urbanas englobam árvores esparsas ou manchas de vegetação e seus componentes bióticos e abióticos associados - incluindo pessoas, instituições e infraestrutura - dentro de um limite municipal, e com um sistema socio-ecológico complexo e próprio (Steenberg et al., 2019). Assim, o conceito de áreas verdes urbanas engloba uma

miríade de tipos de áreas verdes, desde parques, florestas urbanas até praças. Ponto comum é que a vegetação urbana apresenta um maior percentual de exóticas se comparada com remanescentes em matrizes florestais ou agrícolas, mas sua composição de comunidades e estruturas é muito variada (Song et al., 2020).

Florestas urbanas são áreas maiores, com uma vegetação mais densa (Orta-Ortiz and Geneletti, 2022). Já a nomenclatura “parques urbanos” admite uma ampla variedade de áreas que são tratadas como sinônimas, mas podem, também, possuir características diagnósticas muito discrepantes entre si. O senso comum é que os parques são áreas públicas, com algum grau de naturalidade, que são geralmente usadas para fins recreacionais (Orta-Ortiz and Geneletti, 2022) ou de educação ambiental.

Mota (2013) e Mota et al. (2016) separaram as áreas verdes urbanas em 3 categorias, levando em conta o tamanho da área, o percentual de cobertura florestal nativa, a qualidade ambiental da área e a função ecológica e social desses espaços no contexto municipal. Estas categorias são:

- UCs (Unidades de Conservação) - áreas com potencial para se tornarem Unidades de Conservação oficiais, ao apresentarem tamanho mínimo pré-estabelecido e presença de cobertura florestal nativa em porcentagem mínima de acordo com a área;
- AIAs (Áreas de Interesse Ambiental) - áreas com infraestrutura para público e presença de alguma vegetação nativa;
- ELUPIS (Espaços Livres de Uso Público e Interesse Social) - áreas voltadas ao paisagismo urbano, sem tamanho mínimo, com predomínio de árvores isoladas.

Existem poucos estudos que analisam, em escalas mais apuradas, como os diferentes tipos e funções de áreas verdes urbanas impactam a oferta de serviços ecossistêmicos (Song et al., 2020). Contudo, este dado é essencial para que os planejadores urbanos possam aprimorar o design das cidades e otimizar planos de implantação e manejo de áreas verdes novas ou já existentes, de forma a maximizar a entrega de serviços ecossistêmicos.

Desta forma, o objetivo deste capítulo foi avaliar a oferta de serviços ecossistêmicos oriundos de áreas verdes e florestas urbanas em Sorocaba/SP, utilizando o protocolo desenvolvido no capítulo anterior.

6.2 MATERIAIS E MÉTODOS

6.2.1 Área de estudo

O RAP (protocolo de avaliação rápida) foi testado e calibrado, inicialmente, na cidade de Sorocaba, que representa uma cidade de porte e densidade demográfica médios a grandes.

Sua população é de 723.682 habitantes e a densidade populacional é de 1608,64 habitantes por km², segundo dados do IBGE de 2022. O clima é subtropical úmido e seus biomas são a Floresta Atlântica e o Cerrado, assim como um ecótono entre eles. A cidade abarca mais de 30 áreas verdes, muito heterogêneas entre si (Mello et al., 2016).

O protocolo foi testado no outono (abril e maio). O motivo dos testes acontecerem nesta estação é que, durante o primeiro ano, a aluna ainda estava em aulas, ajustando o protocolo e preparando as submissões anteriores. É mister salientar que testes na primavera seriam ideais; esta é estação na qual ele foi calibrado durante a iniciação científica, o que garantiria padronização e diminuição de resultados tendenciosos. Contudo, o prazo final da defesa do mestrado foi, justamente, o início da primavera; desta forma, a coleta e processamento de dados das áreas foram readequados em cronograma.

Alguns indicadores afetados pela estação do ano, tais como floração (estética), frutificação (alimento) e temperatura (alívio microclimático) podem não atender às classes e sofreram ajustes de coleta. Para mitigar os efeitos estacionais, os testes foram feitos usando dendrologia e conhecimento prévio para identificar as espécies que produzem frutos e apresentam flores vistosas. O indicador de temperatura não foi re-calibrado no protocolo, pois não haveria uma metodologia alternativa e, dado que as temperaturas diferem no outono e primavera, a calibragem poderia ficar enviesada. É importante salientar que uma pessoa com médio treinamento ainda é capaz de aplicar o protocolo e identificar as árvores floridas, sem conhecimentos dendrológicos, se o fizer na estação correta, isto é, na primavera. Todos os outros indicadores independem da estação do ano, e puderam ser re-calibrados.

As áreas verdes urbanas selecionadas para teste foram parques e florestas urbanos, e se encontram inseridas em zonas comerciais e/ou residenciais do município (zona urbanizada). Para escolha das áreas, os critérios foram: apresentar posse pública, possuir fragmentos de vegetação arbórea (nativa ou não) e ter acesso ao público. Estão contempladas as seguintes áreas para cada categoria de acordo com os estudos de Mota et al. (2016):

- UC (potencial): Floresta Cultural do bairro “Parque 3 meninos”;¹
- AIA: Parque da Biquinha, Parque João Câncio Pereira (Água Vermelha), e Parque Natural Ouro Fino;
- ELUPIS: (1) Parque Maria Barbosa Silva (Parque das Águas), (2) Parque Carlos Alberto de Souza (Parque do Campolim), e (3) Parque Miguel Gregório de Oliveira.

A seguir estão apresentadas cada uma das áreas.

6.2.2.1 Parque das Águas “Maria Barbosa Silva” (ELUPIS)

O parque Maria Barbosa Silva (popularmente conhecido como Parque das Águas) é um dos mais conhecidos e visitados da cidade. Localizado na zona nordeste, no Jardim Abaeté, com acesso pela Avenida Dom Aguirre, é um parque visitado por quem deseja pescar e praticar atividades físicas, e também é utilizado como área de eventos e shows. Não possui muita arborização, porém possui grande infraestrutura como anfiteatro de arena, playground, pista de skate, circuito infantil, lago central com fontes, pista de caminhada, ciclovia, deque de madeira, campos de futebol e quadra poliesportiva.

¹ A categoria UC em potencial só possui uma área pois as outras áreas selecionadas (Estação Ecológica Bráulio Guedes e Parque Brigadeiro Tobias) se encontravam fechadas para visitação.

Figuras 1 e 2 - Parque das Águas (fotografia)



FONTE: Autoria própria, 2020

Figura 3 - Parque das Águas (Imagem de satélite)



FONTE: Autoria própria (2024)

6.2.2.2 *Parque Carlos Alberto de Souza — Parque Campolim (ELUPIS)*

O parque Carlos Alberto de Souza (popularmente conhecido como Parque do Campolim) é também um dos parques mais famosos e visitados da cidade, e está localizado em uma área nobre da zona sul da cidade, o bairro Campolim. Tem 63 mil m² de vegetação, e serve como um repositório de água da chuva, contando com um espelho d'água, diversas pistas de caminhada, playground, academia ao ar livre e barras de exercício, além de uma área na qual são frequentemente realizados eventos diversos. É muito frequentado por famílias com crianças e também por praticantes de esporte.

Figuras 4 e 5 - Parque Campolim (fotografia)



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 6 - Parque Campolim (Imagem de satélite)



FONTE: Autoria própria (2024)

6.2.2.3 Parque Miguel Gregório de Oliveira — Parque do Santa Bárbara (ELUPIS)

O Parque Miguel Gregório de Oliveira (conhecido como o Parque do Santa Bárbara) tem mais de 100mil m² de cobertura arbórea, sendo sua vegetação característica de Floresta Estacional e Cerrado, e fica localizado na zona oeste, entre os bairros Jardim Santa Bárbara e Júlio de Mesquita. Conta com pistas de caminhada em cimento e em saibro, playground e academia ao ar livre. Segundo Germano et al. (2018) o parque enfrenta diversos problemas apontados pela população do entorno, em estudo de percepção, decorrentes de falta de manutenção. De fato, o parque apresenta mato alto, trilhas e estruturas deterioradas em alguns pontos, muitos pontos com acúmulo de resíduos sólidos e também despejo de efluente em seu corpo d'água, o que ocasiona um mau odor. O parque também é visitado por consumidores de substâncias ilícitas, fator que gera um sentimento de insegurança na população. O parque não conta com infraestrutura básica como lixeiras, banheiros ou bebedouros.

Figuras 7 e 8 - Parque Miguel Gregório (Fotografia)



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 9 - Parque Miguel Gregório (Imagem de satélite)



FONTE: Aatoria própria (2024)

6.2.2.4 *Parque Natural da Biquinha (AIA)*

O Parque da Biquinha possui 27 mil m², e está localizado na zona sul, próximo ao centro, no bairro Jardim Emília, com entrada pela Avenida Comendador Pereira Inácio. Possui nascentes e lago natural, e vegetação de Floresta Estacional Semidecidual enriquecida com exóticas. Sua infraestrutura conta com mesas de xadrez, playground e biblioteca infantil, e é foco de diversas ações de educação ambiental realizadas pela prefeitura.

Figuras 10 e 11 - Parque da Biquinha (Fotografia)



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 12 - Parque da Biquinha (Imagem de satélite)



FONTE: Autoria própria (2024)

6.2.2.5 Parque Natural Municipal da Água Vermelha “João Cândio Pereira” (AIA)

O Parque João Cândio Pereira (popularmente conhecido como Parque da Água Vermelha) tem 13 mil m² de cobertura arbórea e está localizado na zona sul do município, no bairro Jardim Europa. É um parque pequeno, mas possui altos padrões de acessibilidade a pessoas com deficiência, além de lagos, playground, anfiteatro e quiosques, e também é bastante visitado para ações de educação ambiental. É frequentado por todo tipo de visitante, jovens, idosos, famílias, casais ou amigos, que costumam se sentar em frente ao lago ou nos bancos e quiosques para conversar.

Figuras 13 e 14 - Parque da Água Vermelha (Fotografia)



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 15 - Parque da Água Vermelha (Imagem de satélite)



FONTE: Autoria própria (2024)

6.2.2.6 Parque Natural Ouro Fino (AIA)

O parque Natural do Ouro Fino tem 88 mil m² de área verde, sendo esta uma vegetação de ecótono entre Mata Atlântica e Cerrado com diversos estratos, o que dá ao parque uma fisionomia mais florestal. O parque está localizado no bairro Ouro Fino, na zona oeste do município, e conta com trilhas ecológicas, algumas bancos e mesas de cimento, e playground. Assim com o parque Miguel Gregório de Oliveira, também é frequentemente vandalizado e frequentado por alguns usuários de substâncias ilícitas, e não conta com manutenção frequente. Dentre todas as áreas, é a menos visitada; os visitantes geralmente se concentram em suas bordas ou áreas comuns e não praticam nenhuma atividade em específico.

Figuras 16 e 17 - Parque Ouro Fino (Fotografia)



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 18 - Parque Ouro Fino (Imagem de satélite)



FONTE: Autoria própria (2024)

6.2.2.7 Floresta Cultural do Parque Três Meninos (UC)

A Floresta Cultural é uma área de APP zelada por uma ONG, que luta para que a mesma seja reconhecida como Unidade de Conservação municipal de maneira oficial. Possui 22 mil m² de vegetação, possuindo fisionomias de Floresta Estacional Semidecidual, Cerrado, e um ecótono entre as duas. A Floresta está localizada na zona leste da cidade, no bairro Jardim Piratininga, zona leste da cidade. Diversos atores sociais atuam na área sendo que interesses diversos convivem, por vezes em conflito, como por exemplo: uma ONG que defende a conservação, e promove ações de meditação, e educação ambiental, com os chamados “guardiões”, que guiam os visitantes pelas trilhas da floresta, também zeladas pela ONG; grupos de escoteiros que utilizam área em suas atividades; grupos religiosos que cultuam suas divindades fazendo “oferendas” na área; assim como e pessoas do entorno, que praticam atos de vandalismo (lixo, queimadas), pois não concordam com sua existência e conservação.

Figuras 19 e 20 – Floresta Cultural (Fotografia)



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 21 – Floresta Cultural (Imagem de satélite)



FONTE: Autoria própria (2024)

6.2.2 Indicadores e testes

Cada indicador do protocolo (Artigo 2) possui uma metodologia própria e específica, que requer verificações em campo (*in loco*) ou em software de geoprocessamento (Google Earth ou QGis).

Para os procedimentos de campo, foi realizada visita aos locais, em horário pré-determinado (ou manhã, ou tarde) para todas as visitas, especialmente para a medição da temperatura, que sempre era aferida no intervalo entre 12h e 13h. Para cada área, foi percorrido todo o perímetro, trilhas e pistas de caminhada, enquanto o protocolo era analisado e cada indicador era avaliado. Foram tomadas notas para enquadrar cada indicador no devido intervalo de valoração. Alguns indicadores, tais como redução de ruído e temperatura, exigiram adentrar o interior do fragmento florestal presente na área para tomar notas e fazer medições com equipamentos específicos (tais como trena, decibelímetro e termômetro, respectivamente).

Indicadores analisados em software de geoprocessamento, tais como sombreamento e dossel, são calculados com valores percentuais ou absolutos. Para calculá-los, foram desenhados polígonos dentro dos limites da área verde, traçando a cobertura vegetal ou a cobertura de água, e então foi calculado o tamanho de cada polígono. Estes cálculos poderiam ser realizados em quaisquer períodos de teste, independentemente da estação do ano.

6.2.3 Cálculo das notas

Após a coleta de todos os dados em campo e em software, foram calculadas as notas para cada um dos parques, para que eles pudessem ser classificados quanto ao seu fornecimento de serviços ecossistêmicos.

Então, para cada uma das categorias de serviços ecossistêmicos foi calculada uma nota parcial, composta pela média das notas de cada indicador. Desta forma, a nota de serviços culturais é uma média dos seus oito indicadores (água; flores; animais atrativos; acessibilidade; atividades e eventos; pistas ou trilhas de caminhada; vocalização de aves e sons de água; e visita guiada ou auto-guiada), a nota dos serviços de provisão é uma média entre seus dois indicadores (árvores frutíferas e nascentes), a nota dos serviços de regulação é uma média entre seus cinco indicadores (fragmentos florestados, temperatura, sombreamento, solo protegido, solo drenante, ruído) e, por fim, a média dos serviços de suporte é uma média entre seus três indicadores (cobertura florestal, estratificação e serrapilheira).

A soma das notas parciais de cada categoria resultou numa nota final, geral. A menor nota possível é 4, caso a área tenha apresentado nota mínima para todos os indicadores (nota 1). A maior nota possível é 16, caso a área tenha apresentado nota máxima para todos os indicadores (nota 4).

Quadro 1 – Classificação da oferta de serviços ecossistêmicos

Muito bom	Bom	Regular	Ruim
13,1 - 16 pontos	10,1 - 13 pontos	7,1 - 10 pontos	4 - 7 pontos
Provisão de 75-100%	Provisão de 50-75%	Provisão de 25-50%	Provisão de 0-25%

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A áreas escolhidas, agrupadas de acordo com as definições de Mota et. al. 2016 (UCs em potencial, AIAs e ELUPIS), apresentam as seguintes medidas de área, conforme os cálculos realizados com geoprocessamento (Tabela 1):

Tabela 1 – Áreas (em ha)

	Nome da área	Área total (ha)	Área terrestre (ha)	Cobertura arbórea (ha)	Área ocupada por “água” (ha)
Elupis	Miguel Gregório	15,85	15,85	10,42	0,0
	Campolim	11,27	10,59	6,67	0,68
	Parque das Águas	15,89	12,38	1,13	3,51
AIA	Biquinha	2,97	2,95	2,78	0,02
	Ouro Fino	9,24	9,24	8,79	0,0
	Água Vermelha	1,92	1,79	1,39	0,13
U	Floresta Cultural	26,07	25,92	22,22	0,14

FONTE: Autoria própria (2024)

A partir dos levantamentos em campo e em software, têm-se os seguintes resultados para cada indicador:

Tabela 2 - Notas recebidas pelas áreas verdes urbanas testadas para cada um dos indicadores avaliados. Agu= Parque das Águas, Cam= Parque do Campolim, Mig = Parque Miguel Gregório, Biq= Parque da Biquinha, AV= Parque Água Vermelha, OF= Parque Ouro Fino, FC= Floresta Cultural.

(continua)

Serviço	Indicador	Agu	Cam	Mig	Biq	AV	OF	FC
Cultural								
Estética	Água	3	3	1	4	3	4	4
	Flores	3	4	4	3	4	4	1
	Animais atrativos	3	4	3	3	2	2	2
Conforto	Acessibilidade	4	4	4	3	3	3	4
Recreação	Atividades e eventos	4	4	1	4	4	2	4
Saúde	Pistas de caminhada	4	3	3	2	4	2	1
	Aves (vocalização) e sons de água	1	2	4	4	2	3	3
Educação	Visitação guiada	1	2	1	4	4	2	4
TOTAL		23	26	21	27	26	22	23
MÉDIA		2,875	3,25	2,625	3,375	3,25	2,75	2,875
Provisão								
Comida	Árvores frutíferas	1	4	2	3	4	3	1
Água	Nascentes	2	2	1	3	3	4	4
TOTAL		3	6	3	6	7	7	5
MÉDIA		1,5	3	1,5	3	3,5	3,5	2,5

(continuação)

Regulação								
Mitigação do aquecimento global	Trechos florestados	1	2	2	1	1	2	4
Melhora climática local	Temperatura	2	2	3	2	2	3	2
	Sombreamento	1	2	2	4	3	4	4
Controle de erosão	Solo protegido	1	3	2	3	3	4	4
Prevenção de enchentes	Solo drenante	1	4	4	4	3	4	4
Redução da poluição sonora	Ruído	1	2	3	1	2	4	2
TOTAL		6	13	14	14	13	19	16
MÉDIA		1,17	2,5	2,67	2,5	2,34	3,5	3,33
Suporte								
Manutenção do ciclo hidrológico	Cobertura de dossel	1	2	3	4	3	4	4
Produção primária								
	Estratificação	1	2	3	4	3	4	4
Ciclagem de nutrientes	Serrapilheira	1	2	2	3	3	4	4
TOTAL		3	6	8	11	9	12	12
MÉDIA		1	2	2,7	3,7	3	4	4
NOTA FINAL		6,54	10,75	9,5	12,5	12,1	13,75	12,71

FONTE: Autoria própria (2024)

1.1.1 Indicadores Culturais

6.3.1.1 Água

O Parque das Águas apresenta um grande lago, com água parcialmente eutrofizada, com presença de algas e alfaces d'água, além da disposição de resíduos sólidos. Contudo, a maior parte do espelho d'água se encontra em condições adequadas, motivo pelo qual recebeu nota 3.

Figura 22 – Lago do Parque das Águas, porção levemente eutrofizada



FONTE: Autoria própria (2024)

De forma semelhante, no parque Campolim, o lago maior apresenta poucos pontos com resíduos sólidos ou infestação; contudo, o lago menor está completamente eutrofizado, apresenta macrófitas e muitos resíduos. Dado que a área do lago em condições muito satisfatórias é muito maior do que a do lago em condições muito insatisfatórias, fazendo-se uma média das áreas afetadas, dá-se que o parque como um todo possui um lago em condições satisfatórias (nota 3).

Figura 23 – Lago do Campolim (condição satisfatória)



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 24 – Lago do Campolim (condição insatisfatória)



FONTE: Autoria própria (2024)

O Parque da Água Vermelha possui um grande lago. Um pequeno trecho apresenta infestação por macrófitas aquáticas, assim como um leve odor de efluente, que também pode ser oriundo do entorno ou das fezes dos patos e gansos que o parque abriga. Como o trecho em condições menos satisfatórias é pequeno, o parque recebeu nota 3.

Figura 25 – Lago do Parque da Água Vermelha (condição satisfatória)



FONTE: Autoria própria (2024)

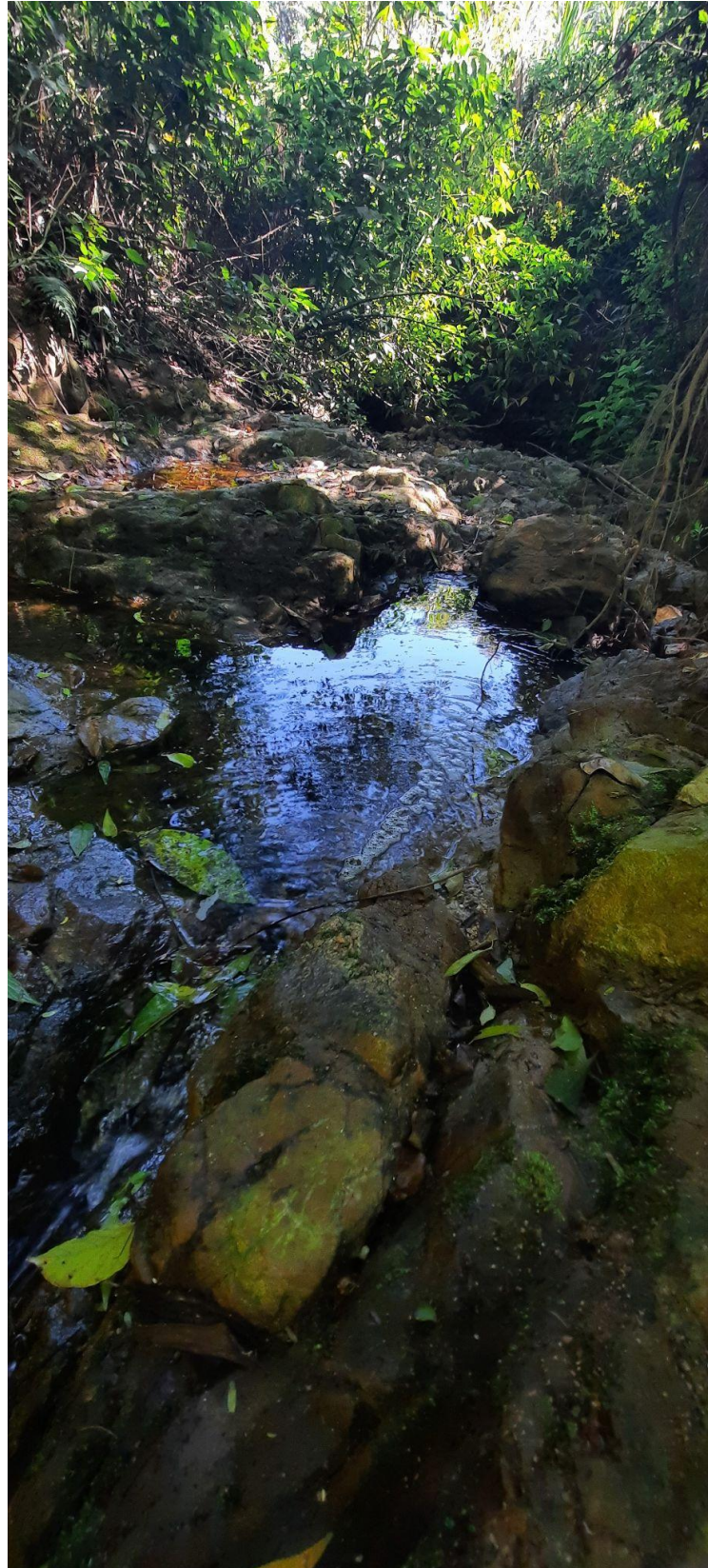
Figura 26 – Lago do Parque da Água Vermelha (condição insatisfatória)



FONTE: Autoria própria (2024)

O Parque da Biquinha possui um lago natural, a Floresta Cultural apresenta lagos naturais e o Ouro Fino apresenta um córrego. Estes não apresentam odores, resíduos ou infestações, motivo pelo qual apresentaram nota máxima (nota 4).

Figura 27 – Córrego na Floresta Cultural. Este córrego se origina de uma nascente, presente na área.



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 28 – Lagos na Floresta Cultural. O lago está coberto por folhas de *Ficus sp.*, gênero caducifólio (que desfolha naturalmente no outono, estação na qual foi tirada a foto), e não há eutrofização.



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 29 – Córrego no Parque da Biquinha



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 30 – Lago natural no Parque da Biquinha



FONTE: Autorial própria (2024)

Figura 31 – Córrego no Parque Ouro Fino



FONTE: Autorial própria (2024)

O Parque Miguel Gregório, por sua vez, apresenta um corpo d'água em condições extremamente preocupantes: possui muitos resíduos sólidos ao longo do córrego e também desembocadura, em algum ponto inacessível, de efluente doméstico, fator que degrada a água e a deixa turva e fétida.

Figura 32 – Córrego no Parque Miguel Gregório, com presença de resíduos sólidos



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 33 – Lago no parque Miguel Gregório. A água apresenta um tom azul turquesa decorrente do despejo de efluente doméstico.



FONTE: Autoria própria (2024)

Todas as áreas estudadas apresentaram ao menos um corpo d'água, motivo pelo qual não foi encontrada nenhuma nota 2 (referente a corpos d'água ausentes).

6.3.1.2 Flores

O indicador flores pode não mostrar resultados acurados pois os testes não foram realizados na época correta conforme a calibragem (primavera), e teve que ser adaptado. Dado o período em que os parques foram percorridos (maio) poucas árvores estavam florindo, o que apresentaria um viés com menor número de árvores floridas do que o esperado. A solução foi

contabilizar árvores que possuem flores vistosas, independentemente se estavam apenas com características vegetativas. O resultado, contudo, foi um viés com um número de árvores floridas maior do que o esperado, dado que nem todas as árvores florescem ao mesmo tempo, e muitas podem não florescer mais dada a idade ou quebra do ritmo circadiano de florescimento. É importante observar que muitas das espécies contabilizadas são exóticas ornamentais, especialmente as que estavam floridas durante as visitas.

No Parque das Águas, como exceção (pois foi o primeiro a ser visitado), todos os indivíduos contabilizados estavam floridos. Eram eles pertencentes às espécies: pau formiga, resedá grande branco, resedá grande rosa, flamboyant, chuva de novembro, paineira, calistemo, quaresmeira, primavera, pau ferro, tabebuia rosa, e uma não identificada. Desta forma, vê-se que este parque obteve uma nota relativamente alta (nota 3), mesmo sem contar indivíduos não-floridos. Como o Parque das Águas foi enriquecido artificialmente, as árvores plantadas possuíram, durante concepção e plantio, sobretudo, uma função estética e urbanística, motivo pelo qual pode ser explicada a variedade de espécies floridas encontrada.

Na contramão, a Floresta Cultural obteve uma nota baixa (nota 1) dado que a grande maioria das espécies encontradas são nativas, isto é, não foram plantadas com planejamento urbanístico de modo a cumprir com uma função estética.

Na maioria dos parques encontrou-se um misto de árvores floridas e não-floridas. O Campolim, por exemplo, apresentou 1 cinamomo, 2 guapuruvus, 9 paineiras rosas, 4 falso-barbatimão, 14 ipês amarelos, 9 ipês rosas-bola, uma bignoniaceae florida não-identificada, 9 árvores-da-china, 7 paus-ferro, 2 árvores-polvo, 1 pau-formiga, 6 caliandras rosas, 13 resedás rosas gigantes, 5 patas de vaca, 5 romãzeiras, 1 caliandra vermelha, 5 jasmins-manga, 1 falso flamboyant, 14 ipês rosas, 28 primaveras rosas, 4 primaveras vermelhas, 2 justicias vermelhas, 7 quaresmeiras, 1 rabo de gato, 2 acácias, 2 ipês-de-jardim, 3 acácias brancas, 8m² (aproximadamente) de hibiscos, 3 espatódeas, 1 cacau selvagem, 1 ipê roxo e 1 flamboyant, totalizando 176 indivíduos divididos em 32 espécies. Enquanto alguns indivíduos estavam floridos (como a árvore-da-China, as primaveras, caliandras, hibiscos), outros não estavam (como alguns ipês com idade avançada). Nota-se, novamente, uma grande preocupação estética na concepção deste parque, dado que estas espécies também são fruto, majoritariamente, de enriquecimento.

O Parque da Biquinha, por sua vez, apresentou 11 espécies (hibiscos, ipê rosa, quaresmeira, pau brasil, guapuruvu, pata de vaca, ipê amarelo, jacarandás, pau ferro) (nota 2), com 48 indivíduos (nota 4), e recebeu nota 3, pois é uma média entre os indivíduos e espécies.

Este parque apresenta um misto entre a vegetação nativa e o enriquecimento com novas espécies, nativas ou exóticas.

6.3.1.3 Animais atrativos

Os animais atrativos encontrados poderiam ser aves ou borboletas.

O Parque das Águas, por exemplo, demonstrou grande quantidade de animais atrativos, com 51 indivíduos. Contudo, sua diversidade não atingiu a nota mais alta, pois apresentou 15 espécies de aves, exclusivamente (nota 3): garças diversas (*Ardea alba*, *Egretta thula* e outro ardeídeo não identificado), marreco, duas espécies de galinha d'água, quero-quero, rolinha, pica-pau preto, lavadeira mascarada, bem-te-vi, joão-de-barro, além de um rapinante, e uma pescadora não-identificada. Também foram encontrados urubus e pombas, que não são considerados atrativos. Ademais, não foram encontradas borboletas que poderiam contribuir para aumentar a diversidade do parque.

Já o Parque da Biquinha e o parque Miguel Gregório de Oliveira apresentaram, ambos, 5 espécies de aves e 10 espécies de borboleta, motivo pelo qual, assim como o parque anterior, obtiveram nota 3.

O Parque Campolim apresentou a maior diversidade de animais atrativos (nota 4), com 46 indivíduos divididos em aves (periquitos, bem-te-vis, um gavião carcará, um beija-flor, lavadeiras mascaradas, uma garça, joão-de-barro, pombas rolinha, galinhas d'água e outras duas espécies não identificadas) e borboletas coloridas (monarca, amarelas, amarelas com preto, preto com vermelho) totalizando 19 espécies avistadas. Vê-se que uma grande diversidade de aves, tal como uma diversidade de borboletas, combinadas, foi imperiosa para alcançar uma nota muito satisfatória neste indicador.

Já na Floresta Cultural, foram identificadas apenas 14 espécies (nota 2), sendo duas aves (uma não-identificada e galinhas d'água) e 12 borboletas de diversas cores (monarcas, pretas, laranjas, vermelhas, amarelas, asas de vidro, entre outras com cores misturadas) denotando um aspecto contrário ao Parque das Águas, que não apresentou diversidade de borboletas.

O parque Ouro Fino apresentou 5 espécies de aves (saíra militar, saíra azul, sanhaço, asa branca e beija-flor) mais 8 espécies de borboletas atrativas (monarcas, brancas, pretas com laranja, amarelas de três tipos, azuis, e pretas de dois tipos), também totalizando 14 espécies.

O Parque da Água Vermelha apresentou 7 espécies de ave (joão-de-barro, garça branca pequena, lavadeira mascarada, patos, rolinhas, marreco e gansos), mais 7 espécies de borboleta (amarela, coloridas, brancas, laranjas) totalizando, também, 14 espécies. Interessante salientar que este parque possui uma placa oficial elaborada pelo COAVES, que relata a existência de

30 espécies de aves que visitam o parque; estas aves poderiam não estar presentes no dia da visita (transitam por diversas áreas, dado que esta é uma área pequena) ou estar dentro do trecho de mata.

Também foram encontradas nos parques borboletas beges e pequenas, mas estas não foram consideradas atrativas.

Nota-se que áreas mais florestadas não apresentaram grande número de aves, mas apresentaram nota maior em virtude da diversidade de borboletas. A presença de vegetação fechada pode dificultar a observação ou audição de aves. Assim, o baixo número de aves, especialmente quando se excluem os anseriformes (possivelmente inseridos artificialmente), pode estar correlacionado ao fato de que a floresta densa fornece às aves diversos poleiros, esconderijos e camuflagens, que desfavorecem o avistamento de aves voadoras por pessoas com olhos menos treinados. A Floresta Cultural e o Parque Ouro Fino são as duas áreas com vegetação mais densa e, conseqüentemente, apresentaram menos aves avistadas.

6.3.1.4 Acessibilidade

Não foram visitados parques com mais de 500m de distância da zona residencial mais próxima, motivo pelo qual são encontradas apenas notas 3 e 4. Este fato reflete uma escolha amostral, não uma deficiência do protocolo. O Parque Natural Municipal da Biodiversidade, uma Unidade de Conservação de Sorocaba, por exemplo, está mais afastado; contudo, por estar depredado e sem receber visitantes, não foi incluído no roteiro de visitas técnicas.

Serviços ecossistêmicos apenas são serviços quando servem à população; ~~se não existem visitas~~ se as pessoas estão impedidas de entrar, não existem pessoas se beneficiando deste serviço. Logo, não se pode falar na oferta de serviços, especialmente no que tange aos serviços culturais, que dependem do uso humano; os serviços de regulação, provisão e suporte, podem não estar sendo acessados diretamente, mas seus benefícios podem ser importados para outras regiões.

Quatro dos parques visitados eram abertos ao público (Miguel Gregório, Campolim, Parque das Águas e Floresta Cultural), sendo todos ELUPIS ou UCs, enquanto os três parques fechados eram AIAs (Ouro Fino, Biquinha e Água Vermelha), e possuíam cercamento, o que limita os horários e dias de funcionamento do parque e, conseqüentemente, a oferta de serviços à população.

6.3.1.5 Atividades e eventos

A população de Sorocaba, culturalmente, tem grande apreciação pelos parques da cidade e usufrui dos mesmos para a realização de diversos eventos. Foram encontrados cinco parques com nota 4.

O Parque das Águas, com sua oferta de infraestrutura e estrutura amplamente plana e asfaltada, mais antropizada, é palco de diversos shows musicais, da tradicional festa julina da cidade e da Semana do Tropeiro. Apesar de importantes, são eventos realizados de forma pontual em diferentes épocas do ano (Kachinsk et al., 2021).

O Parque Campolim conta com uma programação de atividades recreativas e culturais diversas (Kachinsk et al., 2018). Também apresenta ampla infraestrutura (banheiros, bebedouro) e uma estrutura plana que é palco de eventos diversos como feiras, oficina de pintura, e celebrações como Halloween, além de ser ponto final da parada LGBTQIA+ de Sorocaba. Seu espaço plano não abriga eventos de porte tão grande quanto o Parque das Águas, mas assim como o primeiro, pessoas de todos os cantos da cidade visitam seus eventos. De fato, o parque faz parte do contexto de valorização do seu entorno, e a própria Secretaria de Cultura do município realiza a curadoria de eventos (Kachinsk, 2021).

Já no Parque da Biquinha e no Parque da Água Vermelha, são feitas atividades promovidas pela prefeitura de Sorocaba de educação ambiental, com programação especial de férias. Existe um equilíbrio entre trechos florestados e infraestrutura (banheiros, bebedouros, quiosques ou tendas) que permitem o conforto dos visitantes ao passo em que é instigada a curiosidade ambiental; por serem parques menores e cercados, também fica mais fácil para os monitores estarem atentos no cuidado com as crianças. Ademais, os parques possuem suas programações particulares: o Parque Água da Vermelha é frequentemente visitado para ensaios fotográficos como de grávidas ou de casamento, enquanto o Parque da Biquinha possui um clube de idosos.

Finalmente, a Floresta Cultural, com sua floresta mais densa e ausência de cercamento, é palco de rituais de religiões de matriz afro-americana, e de vivências de outros grupos religiosos como do movimento “sagrado feminino”. Alguns destes rituais muitas vezes acontecem à noite, e não seriam possíveis se o parque fosse fechado. Também recebe eventos como aulas de ioga, oficinas de dança circular, meditação, artesanato, teatro, entre outras. O teor dos eventos realizados na floresta cultural destaca um outro serviço ecossistêmico cultural, não contemplado pelo protocolo, o de espiritualidade (Cooper et al. 2016, Kosanic & Petzold, 2020).

O Parque Ouro Fino outrora possuía eventos como campeonato de bicicross e eventos especiais para as crianças, promovidos pela Associação de moradores do bairro, segundo relato de morador do entorno. Contudo, desde a pandemia, não foram mais realizados eventos.

Não há registro de eventos no Parque Miguel Gregório in loco ou na internet.

Desta forma, vemos que os parques são utilizados para diversas finalidades, sendo que estas que estão diretamente atreladas ao desenho, cobertura florestal, gestão, cercamento (aberto ou fechado) e infraestrutura do parque.

Além dos eventos citados, alguns parques são diariamente visitados por famílias com crianças e animais, que os utilizam para andar de bicicleta (parque das Águas, Campolim), fazer picnics (Campolim, Água Vermelha, Biquinha) ou brincar nos playgrounds (Parque das Águas, Campolim, Água Vermelha, Biquinha).

6.3.1.6 Pistas de caminhada

A Floresta Cultural não possui pistas de caminhada formais. As trilhas são formadas organicamente de acordo com o pisoteio dos visitantes (trilhas dinâmicas). Isso torna a "trilha" muito estreita, com diversos declives e relevos. É necessária atenção ao caminhar, e por isso a área recebeu nota 1.

Figura 34 – Trilhas dinâmicas na floresta florestal. Existem trechos planos (à esquerda) e em alto grau de declividade (à direita).



FONTE: Autoria própria (2024)

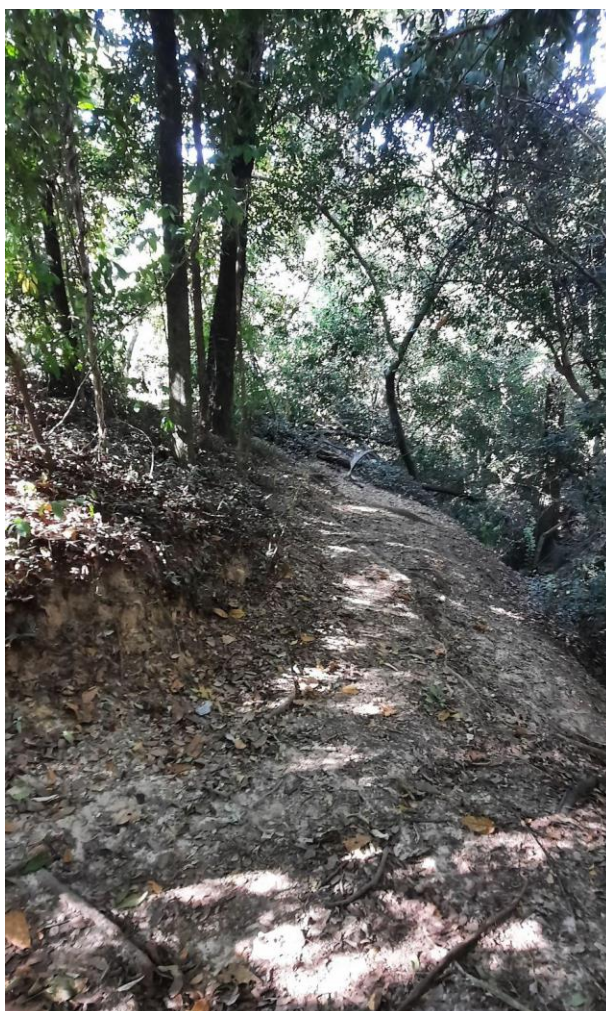
Já o Parque da Biquinha possui algumas trilhas adaptadas, mas grandes trechos em condições perigosas, declivosas, com grande quantidade de pedras e raízes que produzem irregularidades no terreno, e sulcos erosivos, o que impede a visita de determinadas áreas do parque por pessoas com mobilidade reduzida. O Parque Ouro Fino possui diversos trechos que passam por dentro da mata, sem manutenção, que exigem prestar atenção especialmente aos cipós acima do solo, além de sulcos erosivos em outros trechos expostos. Estes parques receberam nota 2.

Figura 35 – Trilha das pedras no parque da Biquinha



FONTE: Autoria própria (2024)

Figuras 36 e 7 – Trilha no Parque Ouro Fino



FONTE: Autoria própria (2024)

Ambos o parque Miguel Gregório e o Campolim possuem trilhas ou pistas de caminhada permeáveis (de saibro) e impermeáveis (pavimentadas). Ambas as trilhas possuem alguns

pontos com desgastes e sulcos, mas no geral apresentam bom estado de conservação, motivo pelo qual receberam nota 3.

Figura 38 – Trilha no parque Miguel Gregório



FONTE: Autorial própria (2024)

Figura 39 – Pista de caminhada no parque Miguel Gregório



FONTE: Autorial própria (2024)

Figuras 40 e 41 – Pistas de caminhada no parque Campolim



FONTE: Autoria própria (2024)

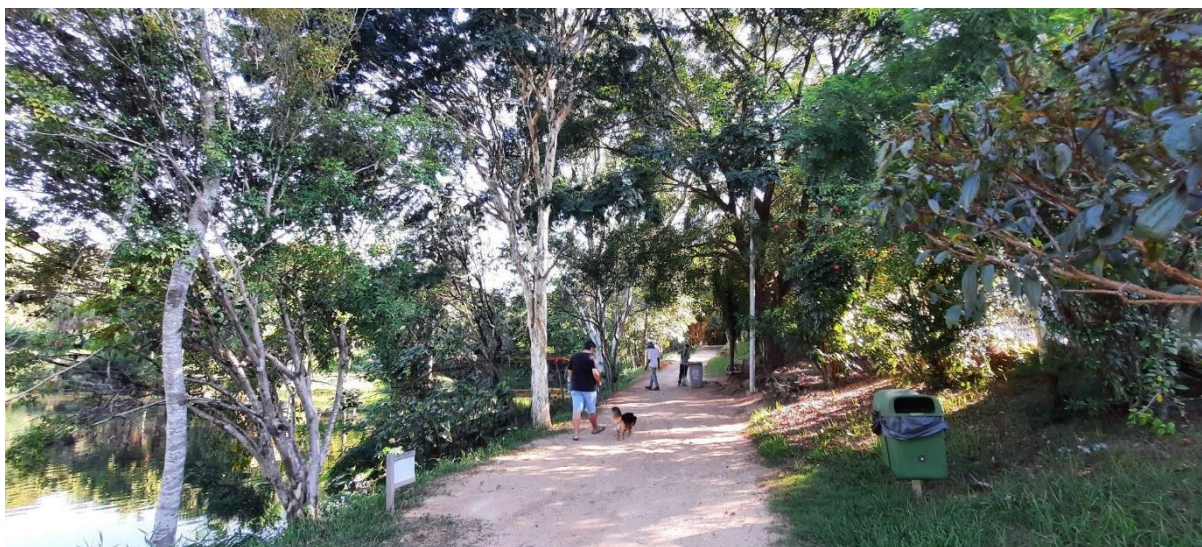
Já os parques das Águas e da Água Vermelha possuem pistas de caminhada sem declividade, desníveis ou erosão, e se encontram em ótimo estado de conservação, razão pela qual receberam nota máxima (nota 4).

Figuras 42 e 43 – Pista de caminhada no Parque das Águas



FONTE: Autoria própria (2020)

Figura 44 – Pista de caminhada permeável no Parque da Água Vermelha



FONTE: Autoria própria (2020)

Figura 45 –Pista de caminhada adaptada para cadeirantes no Parque da Água Vermelha



FONTE: Autoria própria (2020)

A nota das pistas de caminhada é um reflexo direto da manutenção das mesmas, que muitas vezes está associada à antropização. Contudo, entende-se que este indicador, mesmo que artificial, promove serviços ecossistêmicos indiretamente ao permitir que uma pessoa possa adentrar um trecho de floresta, ou estar em contato com a biodiversidade enquanto pratica um exercício físico.

A manutenção das trilhas e pistas, por sua vez, reflete diretamente no seu uso pelos visitantes. Diariamente, o Parque das Águas, o Campolim, e o Água Vermelha são utilizados para prática de esportes como corrida e caminhada, especialmente para adultos, dado que todos

apresentam pistas de caminhada em boas condições. As pistas de caminhada do parque Miguel Gregório também são utilizadas para caminhada. Além das pistas e trilhas, o Parque das Águas, Campolim e Miguel Gregório também apresentam academia ao ar livre, sendo que o Parque das Águas, inclusive, apresenta pistas de skate, para prática de exercícios.

6.3.1.7 Aves (vocalização) e sons de água

A escuta de vocalizações de aves não se mostrou diretamente relacionada ao avistamento de aves. Parques que apresentaram grande diversidade de aves, não necessariamente apresentaram grande diversidade de cantos, como o Parque das Águas (nota 1). É mister salientar que o parque possui fontes em seu lago, mas as mesmas estavam desligadas nos dois dias de visita, motivo pelo qual não se ouvia barulho de água corrente.

Outras áreas, como o Campolim e a Água Vermelha, apresentaram grande diversidade de cantos; contudo, não possuíam o barulho de água corrente, também considerado restaurativo, e receberam nota 2.

A Floresta Cultural e o Parque Ouro Fino não apresentaram uma grande diversidade de cantos; contudo, ambos possuíam som de água corrente em seus córregos, e receberam nota 3.

Já os parques Miguel Gregório e Biquinha possuíam grande diversidade de cantos, além do som de água corrente, e alcançaram nota máxima para este indicador (nota 4).

6.3.1.8 Visitação guiada ou auto-guiada

Os parques da Água Vermelha e da Biquinha se destacam como exemplos de áreas verdes urbanas com utilização educacional, e receberam nota máxima. Ambos recebem visitas frequentes de escolas, possuem placas interpretativas (como de diversidade de avifauna e projeto nascentes), e recebem educadores ambientais com programação para as crianças. O parque da Biquinha também apresenta placas exclusivas sobre processos ecológicos e biodiversidade, tanto ao longo das trilhas, como em sua biblioteca. Já o Parque da Água Vermelha, até a pandemia, antes de ser reformado, possuía outras placas educativas, como jardim sensorial para deficientes visuais e placas do tipo cartaz sobre biodiversidade de peixes; contudo, as placas em braile estão desgastadas e o jardim não foi recuperado, e o aquário foi removido.

A Floresta Cultural não possui educadores contratados pela prefeitura, como os anteriores, mas possui tutores ambientais voluntários (os chamados guardiões) e visitas educacionais como de grupos de escoteiros, e também recebeu nota máxima.

Não foram encontrados parques com registro de visitas frequentes de escolas ou com 2 placas interpretativas.

Nos parques Ouro Fino e Campolim existem alguns registros de visitas com fins educacionais, respectivamente com crianças e adultos, motivo pelo qual receberam nota 2.

Não há registro de visita com fins educacionais no parque das Águas e no parque e Miguel Gregório, motivo pelo qual receberam nota 1.

6.3.2 Indicadores de Provisão

6.3.2.1 Árvores frutíferas

O parque Maria Barbosa Silva não possui tantas árvores frutíferas, visto que não possui muitas árvores em geral, apresentando 10 spp. (amora, siriguela, manga, coco, pitanga, goiaba, araçá roxo, banana, jatobá e romã) e 25 indivíduos. Então, o parque recebeu nota 1 para este indicador.

Já a Floresta Cultural não possui muitas frutíferas, porque a maior parte do fragmento é composto por nativas; as poucas frutíferas encontradas, além de três grandes mangueiras no centro do fragmento, foram plantadas na borda, por moradores do entorno (3 acerolas, 1 cajueiro, 2 amoreiras, 3 pitangas, 1 limoeiro e mais 9 mangueiras). Há registro de araçá, gabioba e goiaba, mas estas não ficam na borda da trilha, e sim no meio da mata; logo, entende-se que não são acessíveis para a população, de forma que não representam a oferta de um serviço. Então, a floresta também recebeu nota 1 para este indicador.

O parque Miguel Gregório apresenta, por sua vez, apenas 7 espécies (araçá roxo, amora, jambolão, pequi, goiaba, manga e abacate), mas contabiliza 32 indivíduos. Desta forma, ao aplicar-se a média aritmética arredondada para cima, o parque recebe nota 2. A espécie com mais representantes (8) é o pequi, ocorrência natural da área, que ilustra uma distinta fisionomia de Cerrado em parte deste parque.

O Parque Ouro Fino apresenta uma grande quantidade de árvores nativas, provavelmente naturais do fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (cabeludinha, araçá roxo, pitanga, jatobá, araucária (fêmea), jambolão, uvaia, taiuva, gabioba); enriquecimento de pitangas; algumas exóticas ou naturalizadas (nêspersas e goiabas), que foram provavelmente dispersadas, não plantadas, dada sua localização no interior do parque; e outras exóticas que foram plantadas (abacates e amoras). O parque totaliza 76 indivíduos divididos em 14 espécies, recebendo nota 3, sendo esta nota uma média que representa o intermediário entre o número de espécies e o número de indivíduos.

Já o parque da Biquinha possui um maior adensamento de indivíduos de frutíferas (101), dentro de uma menor diversidade (13 spp.), majoritariamente plantados artificialmente: pitanga, goiaba, limão, amora, jabuticaba, araçá amarelo, araçá roxo, manga, jambolão, jatobá, acerola, banana, abacate e araçá roxo. As bananeiras podem ser encontradas próximas ao córrego e foram contabilizados 38 pseudocaulos, sendo a espécie de maior dominância dentre as frutíferas.

O Parque Campolim representa um ponto fora da curva, ao apresentar 19 espécies de árvores frutíferas e um total de 170 indivíduos. Foram contabilizadas 118 acerolas, 2 jacas, 28 amoras, 1 limão, 1 pé de café, 2 goiabas brancas e 8 vermelhas, 3 mamões, 8 jabuticabas, 3 nêsperas, 5 romãs, 19 pitangas, 1 aglomerado de melão-de-São-Caetano, 1 ameixa, 2 oitis, 3 araçás amarelos, 1 abacate, 29 mangas e 2 gabiobas. O alto número de acerolas se deve a um senhor de idade que vem da Zona Oeste plantar as mudas todos os domingos. É um caso preocupante, dado que as acerolas são exóticas, o cidadão atravessa a cidade para plantar no parque, sem ter conhecimentos se lá é o local mais adequado para fazer o plantio, e o poder público não possui ferramentas para fazer a gestão das árvores plantadas.

É mister notar que grande parte das frutíferas encontradas nos parques é exótica, plantada pela população em algum momento (manga, acerola, abacate, amora, banana, romã, limão) ou dispersada de maneira natural zoocórica (nêspera, jaca, ameixa). Também existem nativas provenientes majoritariamente de enriquecimentos (como a pitanga, jabuticaba e o jambolão) ou naturalizadas dispersadas de maneira natural zoocórica (goiaba e mamão). Outras, dada a localização e idade, são provavelmente naturais dos fragmentos (guaçatonga, gabioba, uvaia, jatobá).

6.3.2.2 *Nascentes*

O Parque Miguel Gregório conta com uma nascente que recebe despejo de efluentes (possivelmente clandestinos), motivo pelo qual foi considerada degradada e recebeu a pior nota (nota 1).

Figura 46 – Trecho do córrego do parque Miguel Gregório, próximo à nascente (inacessível), já apresentando despejo de efluente doméstico, notado pela turbidez acentuada e alteração colorimétrica da água.



FONTE: Autoria própria (2024)

Os parques das Águas e Campolim possuem espelhos d'água; contudo, suas nascentes não se encontram nos limites dos parques, motivo pelo qual receberam nota 2 (nascentes ausentes).

Ambos os parques da Biquinha e Água Vermelha abrigam uma nascente modelo, bem conservada, motivo pelo qual receberam nota 3.

Figura 47 – Nascente modelo do parque da Biquinha



FONTE: Autoria própria (2024)

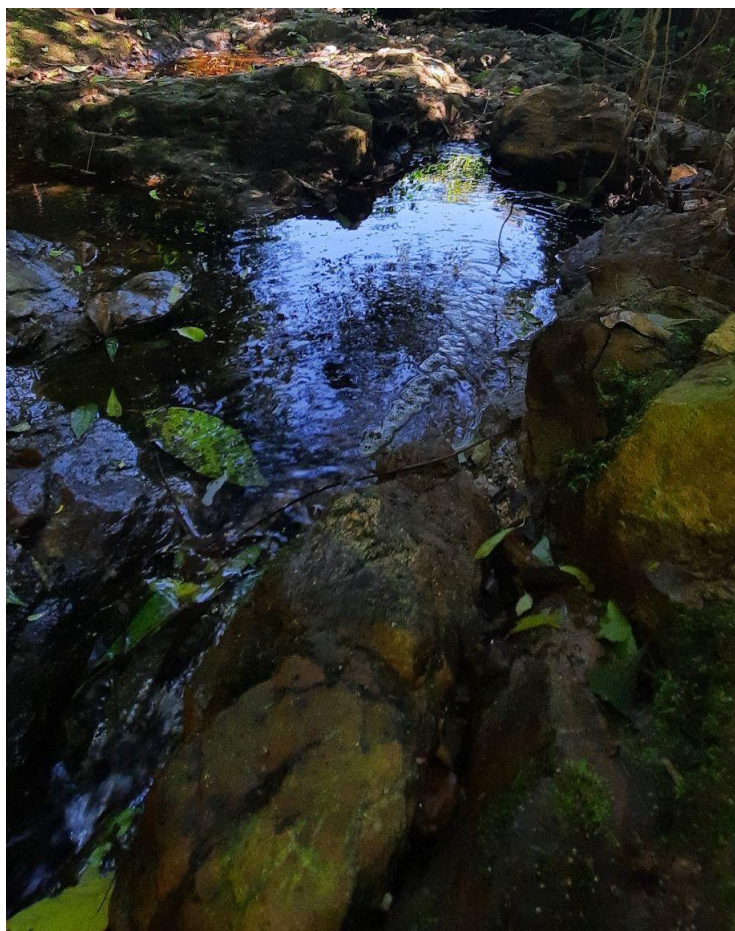
Figura 48 – Nascente modelo do parque da Água Vermelha



FONTE: Autoria própria (2024)

Já a Floresta Cultural abriga três nascentes (sendo duas perenes e uma intermitente), assim como o parque Ouro Fino (três perenes), nascentes estas em bom estado de conservação, motivo pelo qual receberam nota 4.

Figura 49 – Nascente perene na Floresta Cultural



FONTE: Autoria própria (2024)

Figura 50 – Nascente no Parque Ouro Fino



FONTE: Autoria própria (2024)

6.3.3 Indicadores de Regulação

6.3.3.1 *Fragmentos florestados (sequestro de carbono)*

Os parques da Biquinha e da Água Vermelha, apesar de possuírem uma alta porcentagem de cobertura arbórea (em números relativos), possuem uma área pequena, o que torna os fragmentos pequenos em números absolutos. Já o parque das Águas, apesar de sua grande área, não possui muita cobertura florestal, o que também não contribui para o sequestro de carbono e consequente mitigação climática global. Os três parques receberam nota 1.

Já os parques Campolim, Miguel Gregório e Ouro Fino possuem uma porcentagem maior de cobertura vegetal, além de uma área maior, e receberam uma nota maior, nota 2, que ainda é considerada insatisfatória, pois não é capaz de absorver muitas toneladas de carbono. Dentre estes, o parque Miguel Gregório foi o que mais se aproximou da nota 3, com cobertura arbórea de 10,42ha. Salienta-se que este parque está conectado a outro trecho de cobertura florestal, que poderia aumentar sua nota.

A única área a alcançar a nota máxima (4), ao apresentar no mínimo 20ha de cobertura arbórea — o que por sua vez representaria um sequestro de carbono considerável, dentro de uma área com tamanho suficiente para manter a integridade biótica a longo prazo — foi a Floresta Cultural, que apresentou 22,22ha de cobertura arbórea. Segundo Lemos et al. (2010) 1 hectare de FES (floresta estacional semidecídua) sequestra 108tC/ano na parte aérea, e 120tC/ano no solo. Desta forma um parque com 22,22 ha de cobertura florestal estaria sequestrando 5.066,16t/C ano (considerando parte aérea e solo). A Floresta Cultural também apresenta conectividade com trechos do entorno.

O resultado demonstra que a maior parte das áreas verdes urbanas não é capaz, por si só, de contribuir significativamente para este serviço ecossistêmico. Contudo, uma gestão integrada dos fragmentos de todo um município pode, sim, apresentar contribuições significativas para o sequestro de carbono e consequente mitigação do aquecimento global.

6.3.3.2 *Temperatura*

Os resultados obtidos com o indicador de redução da temperatura demonstraram uma falha na calibragem. Dado que todas as coletas foram realizadas dentro de um intervalo limitado de tempo, sempre entre 12-13h, esta falha pode estar relacionada à:

(1) estação do ano em que foram feitas as aferições, dado que o protocolo está calibrado para testes na primavera; ou

(2) falta de sensibilidade do aparelho, que apresentou dificuldades para estabilizar a temperatura.

As notas dissonantes (Miguel Gregório e Ouro Fino) foram aferidas no mesmo dia.

Um dado interessante é que todos os parques apresentaram alguma redução, o que demonstra que há, de fato, diminuição da sensação térmica e melhora microclimática embaixo de árvores.

6.3.3.3 *Sombreamento*

O indicador de sombreamento leva em conta o quanto da área terrestre está sombreada, ocasionando melhora microclimática.

Parques com maior porcentagem de cobertura arbórea apresentaram as notas mais altas (Biquinha, Ouro Fino, Floresta Cultural).

O parque da Água Vermelha, em sua parte visitável, não é tão sombreado; contudo, a maior parte do parque é constituída por um denso fragmento florestal, motivo pelo qual recebeu nota 3.

Os parques Miguel Gregório e Campolim receberam notas regulares (nota 2) pois possuem muitos trechos sombreados, assim como muitos trechos expostos ao sol.

A nota baixa do Parque das Águas (nota 1) é um reflexo da escassez de indivíduos arbóreos que formem um dossel.

6.3.3.4 *Solo protegido*

Grande parte da área do parque das Águas e do parque Miguel Gregório de Oliveira (notas 1 e 2, respectivamente) está impermeabilizada ou com trilhas não-cobertas com vegetação, fator que influenciou negativamente nas notas.

Poucos trechos do parque Ouro Fino e da Floresta Cultural se encontram sem proteção de vegetação, motivo pelo qual os parques receberam nota máxima (nota 4).

Os parques da Biquinha, Campolim e Água Vermelha possuem valores intermediários, e receberam nota 3.

6.3.3.5 *Solo drenante*

Mesmo com um grande espelho d'água (3,5ha), o parque das Águas apresenta apenas 71% da sua área com cobertura permeável, pois grandes trechos foram pavimentados para construção de estacionamento e infraestruturas, motivo pelo qual obteve nota 1.

Os outros parques apresentaram boas notas, pois apresentam impermeabilização mínima. O parque da Biquinha, Miguel Gregório e Campolim possuem alguma infraestrutura (como banheiro e sede de visitantes) e/ou uma trilha impermeabilizada (além de outras trilhas de terra),

fatores que não contribuem de forma significativa em relação à proporção não-impermeabilizada. O parque Ouro Fino sequer possui trilhas impermeabilizadas, possuindo apenas um pequeno trecho pavimentado na sede, onde estão localizados o banheiro e o escritório administrativo. Já a Floresta Cultural não apresenta nenhum ponto impermeável. Todos estes parques alcançaram nota 4.

O parque da Água Vermelha apresenta uma maior infraestrutura impermeabilizada, como sede, palco, coretos, tal como o parque da Biquinha; contudo, possui metade do tamanho, o que afetou a proporção de área impermeabilizada em relação à área total do parque, motivo pelo qual recebeu nota 3.

6.3.3.6 Ruído

O Parque das Águas não possui cobertura arbórea, motivo pelo qual a perda em decibéis foi oriunda apenas em virtude da distância. Já o parque da Biquinha teve uma redução em decibéis aquém do esperado, pois não existia um trecho florestado rente à borda do parque que fosse acessível (pois o parque é cercado); como o método prevê, obrigatoriamente, uma distância de no máximo 25m, que simule o som proveniente de automóveis nas ruas próximas, o resultado demonstra apenas a redução de um trecho mais amplo, com menos barreiras.

Os parques da Água Vermelha e Campolim foram medidos em trechos já com ocorrência de algumas árvores, e obtiveram nota 2. A Floresta Cultural obteve nota 2, apesar da cobertura arbórea; isso pode ser explicado pois: a) havia um ruído alto ao fundo de motosserra, somado ao ruído padronizado emitido pelo dispositivo; b) a maior parte das árvores estava mais esparsa e com caules menos grossos, ainda em zona de borda (25m adentro, segundo o método). A densidade de árvores, assim como o tamanho do caule e a configuração das folhas pode alterar a supressão do ruído. Árvores mais grossas, com madeiras mais densas, irão refletir mais as ondas sonoras, assim como dosséis e caules com estruturas e texturas mais complexas, irão refratar mais estas ondas (Maleki e Hosseini, 2011).

O parque Miguel Gregório atingiu uma boa pontuação (nota 3) ao reduzir o ruído consideravelmente. Sua cobertura arbórea se mostrou eficaz para suprimir o ruído vindo da rua.

O parque Ouro Fino é um caso à parte e recebeu nota máxima (nota 4). Houve uma redução de 42dB dentro dos 25m de distância. Os picos de ruído ouvidos eram farfalhar de folhas ou alguma ave à distância. Foi necessário gritar para estabelecer uma comunicação dentro-fora da mata, o que revelou uma supressão completa de ruído.

6.3.4 Indicadores de Suporte

6.3.4.1 Cobertura de dossel

A Floresta Cultural e os parques da Biquinha e Ouro Fino, receberam nota 4 ao apresentarem, respectivamente, 85%, 94% e 95% de cobertura arbórea em relação ao total da área.

Os parques Miguel Gregório e Água Vermelha receberam nota 3 ao apresentarem, respectivamente, 66% e 73% de cobertura arbórea em relação ao total da área.

O parque Campolim apresentou 59% de sua área coberto por vegetação arbórea, razão pela qual recebeu nota 2.

Já o parque das Águas apresenta apenas 7% de sua área coberto com vegetação arbórea, motivo pelo qual recebeu nota 1, demonstrando grande desvio em relação às outras áreas analisadas.

6.3.4.2 Estratificação

Por não possuir um fragmento de vegetação, apenas árvores isoladas que não se fecham em um dossel, o parque das Águas recebeu nota 1.

Figura 51 – Árvores isoladas no Parque das Águas



FONTE: Autoria própria (2024)

O parque Campolim possui alguns trechos florestados nos quais há ocorrência de 2 estratos; contudo, a maior parte da área é coberta apenas por árvores que circundam as pistas de caminhada ou ocupam espaços próximos a ela, e formam um estrato único, razão pela qual o parque recebeu nota 2.

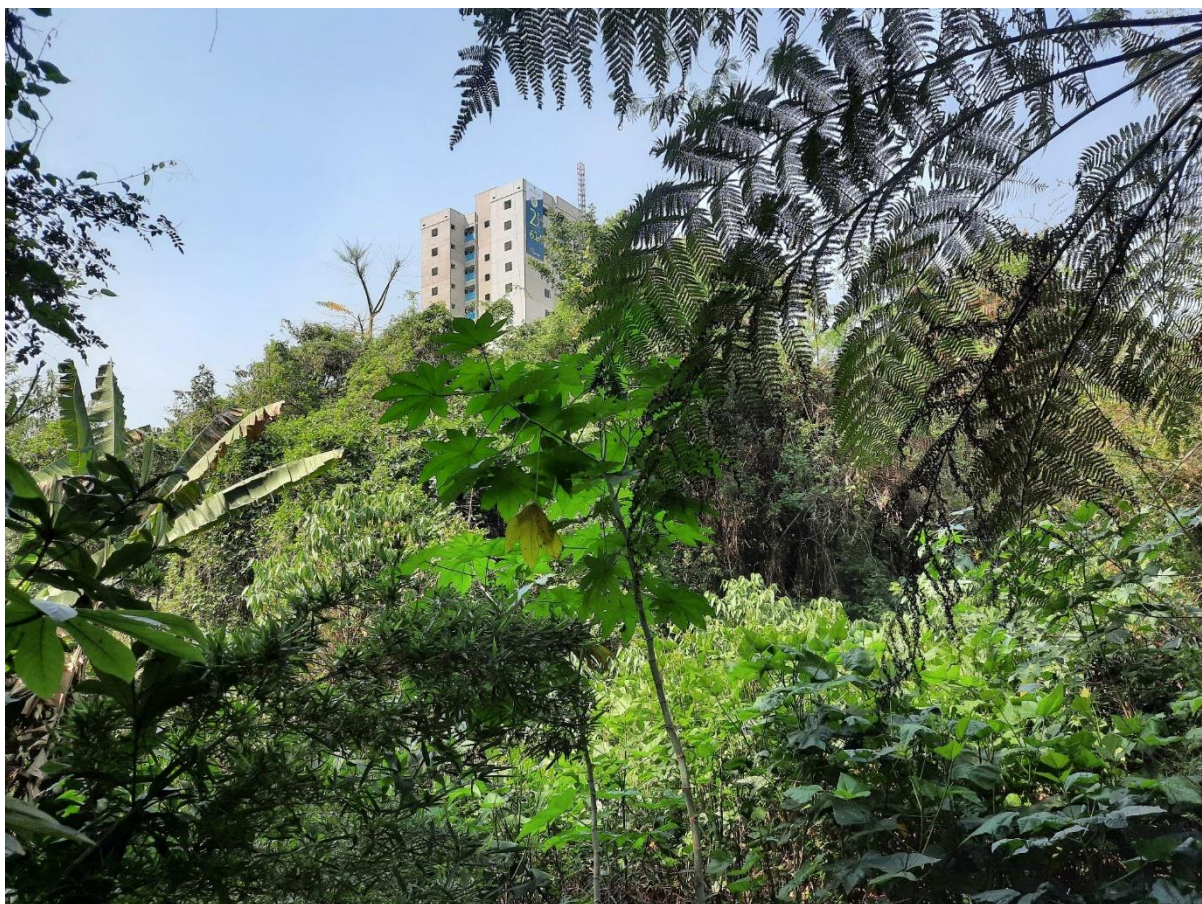
Figuras 52 e 53 – Estrato do parque Campolim. As copas das árvores se tocam, formando dossel.



FONTE: Autoria própria (2024)

Os parques da Água Vermelha e Miguel Gregório apresentavam, além do dossel, presença de estrato arbustivo e/ou regeneração natural com plântulas, razão pela qual receberam nota 3.

Figuras 54 e 55 – Estratos no Parque da Água Vermelha. Há muita presença de cipós.



FONTE: Autoria própria (2024)

Figuras 56 e 57 – Estratos no parque Miguel Gregório



FONTE: Autoria própria (2024)

Já os parques da Biquinha, Ouro Fino e Floresta Cultural apresentavam, no mínimo 3 estratos; os dois últimos apresentavam, claramente, o dossel, algumas árvores emergentes, sub-bosque e estrato arbustivo, além de estrato herbáceo em alguns trechos, razão pela qual receberam nota máxima.

Figuras 58 e 59 – Estratos no parque da Biquinha próximos ao córrego (acima) e próximos à trilha (abaixo)



FONTE: Autoria própria (2024)

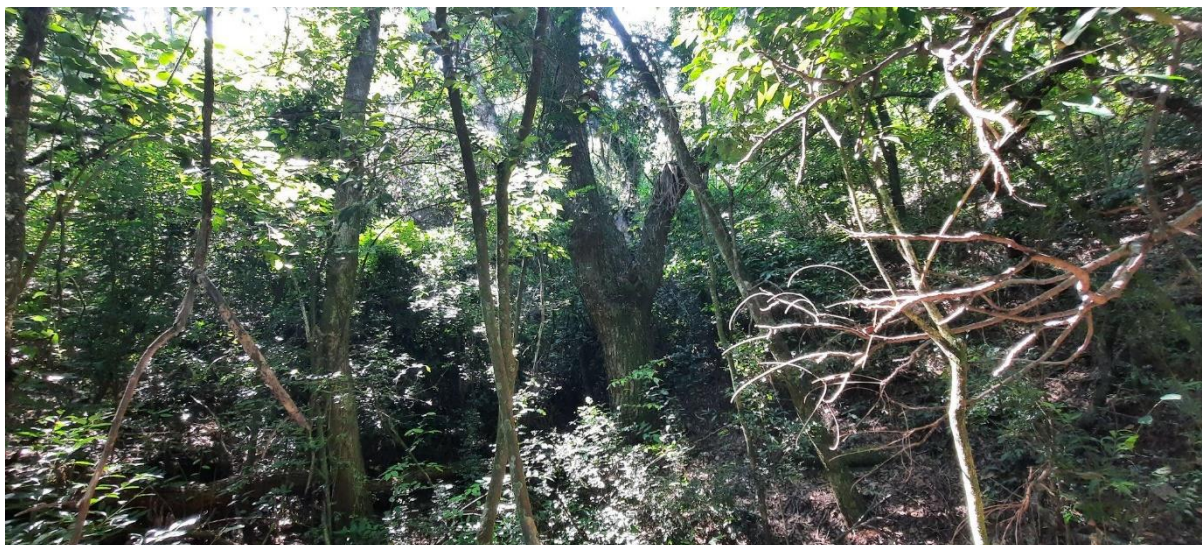
Figuras 60 e 61 – Estratos florestais no Parque Ouro Fino



FONTE: Autoria própria (2024)

Figuras 62 e 63 – Estratos florestais na Floresta Cultural





FONTE: Autoria própria (2024)

6.3.4.3 Serrapilheira

A serrapilheira que se acumula no solo não é suficiente para formar uma camada no Parque das Águas, motivo pelo qual recebeu nota 1.

Nos parques Miguel Gregório e Campolim não há tanta deposição de folhas para formação de serrapilheira, e os caminhos se apresentam "limpos". Estes parques receberam nota 2.

Já o parque da Biquinha e o Parque da Água Vermelha receberam nota 3 pois, apesar de possuir deposição de serrapilheira, esta não é suficiente para formar camadas sobressalentes. Ademais, a serrapilheira é retirada em alguns trechos de caminho pelos funcionários.

Por fim, a Floresta Cultural e o parque Ouro Fino apresentam alta deposição de serrapilheira, a qual forma mais de uma camada (o chão deixa de estar visível em alguns pontos, isto é, a serrapilheira apresenta profundidade), razão pela qual receberam nota 4.

6.3.5 Comparação entre as áreas

A seguir estão apresentadas as notas parciais e finais para cada uma das áreas (Tabela 3):

Tabela 3 - Notas parciais (categorias) e finais (totais) para cada área verde urbana testada.

	Pq. das Águas	Campolim	Miguel Greg	Biquinha	Água Vermelha	Ouro Fino	Floresta Cultural
CULTURAL	2,88	3,25	2,63	3,38	3,25	2,75	2,88
PROVISÃO	1,5	3	1,5	3	3,5	3,5	2,5
REGULAÇÃO	1,17	2,50	2,67	2,50	2,33	3,50	3,33
SUPOORTE	1	2	2,7	3,7	2,7	4	4
NOTA FINAL	6,54	10,75	9,5	12,5	12,1	13,75	12,71
Oferta de SE (%)	(21,16%)	(56,25%)	(45,83%)	(70,83%)	(65%)	(81,25%)	(72,58%)

FONTE: Autoria própria (2024)

Analisando as notas as notas parciais e finais para cada uma das áreas (Tabela 3) pode-se observar que todas as áreas oferecem serviços ecossistêmicos, mas que esta oferta varia entre as mesmas. Desta forma, ao classificar os parques (Quadro 1) de acordo com a oferta de serviços ecossistêmicos dada pela nota final, têm-se a seguinte classificação (Quadro 2):

Quadro 2 – Classificação das áreas verdes testadas, segundo a oferta de serviços ecossistêmicos (das 4 categorias – culturais, provisão, regulação, suporte).

Muito bom	1. Ouro Fino (13,75 pts.) (81,25%)
Bom	2. Floresta Cultural (12,71 pts.) (72,58%)
	3. Biquinha (12,5 pts.) (70,83%)
	4. Água Vermelha (12,1 pts.) (67,5%)
	5. Campolim (10,75 pts.) (56,25%)
Regular	6. Miguel Gregório (9,5 pts.) (45,83%)
Ruim	7. Parque das Águas (6,54 pts.) (21,16%)

FONTE: Autoria própria (2024)

O parque Ouro Fino apresentou a maior nota dentre todas (13,75), mesmo com uma das menores notas de serviços culturais (2,75). Isso demonstra que, caso passe a ser palco de ações

educativas e/ou eventos que promovam uma integração com a população, e o projeto de plantio de nativas frutíferas seja continuado, o parque tem potencial para atingir uma nota próxima da máxima. Infelizmente, sua forma geométrica torna difícil a sua fiscalização, e o parque atrai, muitas vezes, vândalos e usuários de substâncias ilícitas, que afastam o restante da população. Vale ressaltar que este parque possui um tamanho intermediário (Tabela 1), e é um parque que recebe menos atenção do poder público local em relação a parques outros parques do estudo, em especial os parques da zona sul.

Em seguida aparece a Floresta Cultural (12,71). Sua nota de serviços culturais é maior que a do parque Ouro Fino por apenas um ponto — ao passo que apresentou mais notas 4, apresentou menos árvores floridas e uma pista de caminhada em condições mais perigosas. Sua característica mais marcante é a promoção de ligação humana com a natureza de forma mais natural e espiritual, e os resultados se mostram consonantes. Há um interesse da ONG que cuida da área em fazer um replantio na área, substituindo uma porção de zona de borda que apresenta muitas leucenas por árvores nativas. Recomenda-se que as nativas plantadas sejam frutíferas e/ou apresentem potencial ornamental.

O parque da Biquinha (12,5) pode ser considerado o mais completo, pois apresenta uma boa nota para todas as categorias de serviço — dado que o indicador de temperatura estava descalibrado para todas as categorias (Tópico 6.3.3.2) e a metodologia do indicador de ruído não pôde contemplar a supressão do barulho nos seus trechos mais vegetados (Tópico 6.3.3.6), fatos que diminuiriam sua nota nos serviços de regulação. É um parque que cumpre seu papel primário de atender à população em diversas esferas, atrai visitantes com diversos propósitos, e é um modelo de gestão.

Também aparecem com boas notas os parques da Água Vermelha e Campolim. Estes parques possuem grande visitação, e não tiveram notas maiores em virtude do tamanho de seus fragmentos. Salienta-se que, apesar de receber nota máxima para o serviço de alimento (provisão), o parque Campolim apresenta, em sua maioria, árvores exóticas, que são plantadas pela população sem uma correta orientação; estes mesmos visitantes que plantam acerola poderiam investir no plantio de frutíferas nativas.

O parque Miguel Gregório de Oliveira recebeu notas medianas em regulação e suporte. Contudo, recebeu uma nota muito insatisfatória para os serviços de provisão, em virtude da degradação de sua nascente, e uma nota baixa para os serviços culturais. Assim como o parque Ouro Fino, o parque recebe muitos usuários de substâncias ilícitas, que acabam afastando outros visitantes. Ademais, o grande acúmulo de resíduos sólidos, assim como o despejo de efluente no curso d'água, escancara um problema de saneamento, fator que se agrava ao se ter em conta

de que o parque também configura como uma área de preservação permanente e deveria ter o seu curso d'água protegido. Dentre as áreas visitadas, esta é a área que recebe menor atenção do poder público local, como já registrado por (Kachinsk et al. 2018, 2021). Salienta-se que parques "abandonados" (com lixo acumulado, equipamentos depredados, mato alto, pouco conservados, sem infraestrutura básica como bebedouros e lixeiras), são vistos como inseguros para a população (Kachinsk et al., 2021).

Por fim, o Parque das Águas não é muito arborizado, possuindo algumas árvores esparsas ao longo da pista de caminhada, fato que reflete diretamente na entrega dos seus serviços de regulação e suporte, e também afeta os serviços culturais e de provisão. Desta forma, ele foi o último colocado na classificação.

Dessa forma, aplicando-se o RAP (protocolo de avaliação rápida) com atribuição de notas advindas de múltiplos indicadores ficou evidente que as áreas verdes urbanas não contribuem de forma idêntica na provisão de todos os serviços ecossistêmicos, tal como no estudo de van Oorschot et al. (2021). Diferentes áreas verdes satisfazem diferentes necessidades da cidade a depender do seu tipo, infraestrutura, tamanho e gestão (Song et al., 2020). As áreas podem ser pontos de biodiversidade, áreas de lazer, relaxamento ou pontos de encontros sociais, ou então fonte de preocupação da comunidade do entorno, devido à falta de vigilância/segurança (Kachinsk et al., 2021; Robert e Yengué, 2022).

Neste estudo, a categoria de área verde que mais se destacou foi a categoria AIA (parques Ouro Fino, Biquinha e Água Vermelha) — todas as áreas tiveram uma classificação de boa a muito boa, e apresentaram um equilíbrio na oferta de todas as categorias de serviço.

Num panorama geral, vê-se que o parque ideal, no que tange ao fornecimento de serviços ecossistêmicos, é um espaço que contempla cada uma das categorias de serviço (cultural, provisão, regulação e suporte). Assim, o planejamento das áreas verdes deve ter um *design* voltado para a multifuncionalidade, que se traduziria numa maximização total de serviços ecossistêmicos ofertados para os cidadãos (Santiago-Ramos e Hurtado-Rodríguez, 2021). Desta forma, integra-se a manutenção dos processos ecológicos e a esfera social que usufruirá dos benefícios gerados por estes processos.

Esta observação entra em consonância com outros estudos que preconizam a integração do lazer e recreação em um ambiente natural, com o conseqüente alívio dos efeitos negativos de uma infraestrutura urbana construída em bases de concreto (Almeida et al., 2018; O'Keeffe et al., 2022).

Contudo, é mister salientar que todas as áreas verdes são apreciadas pela população (Robert e Yengué, 2022), e nenhuma área verde deveria ser considerada mais importante que

outra; elas apenas fornecem serviços ecossistêmicos distintos (Derkzen et al., 2015). Os planejadores poderiam questionar — “Qual opção seria mais vantajosa, a distribuição de serviços ecossistêmicos distintos em áreas com diferentes propósitos, ou a criação de áreas multifuncionais?”. A resposta a esta questão deve levar em conta custos, além de pontos positivos e negativos de cada estratégia (Almeida et al., 2018).

Algumas características das áreas verdes são, inclusive, controversas, e despertam sentimentos mistos na população, tal como o estado de manutenção. Alguns visitantes valorizam a manutenção (como poda de galhos e cipós e aparo do mato), pois consideram que uma área com maior manejo é mais limpa, estética e segura; enquanto isso, outros preferem uma área com menos manejo, pois esta aparenta estar mais natural, e pode ser mais interessante para os animais (Robert e Yengué, 2022).

Alguns atributos das áreas verdes são chave para o fornecimento de serviços ecossistêmicos, tal como a quantidade e qualidade da cobertura arbórea. A vegetação é a base dos ecossistemas terrestres, contribui para a regulação da temperatura, diminui os níveis de poluição (atmosférica e sonora), e faz parte de diversos ciclos biogeoquímicos como o da água e da formação do solo. De fato, comunidades vegetais menos biodiversas e densas apresentarão menos interações e funções ecossistêmicas (Song et al., 2020). A cobertura com vegetação, especialmente a arbórea, é particularmente importante quando se tratam de matas ripárias que protegem cursos d'água dentro da área urbana (Belaire et al., 2022).

A vegetação também é um elemento-chave na conectividade. Neste ponto, as áreas verdes urbanas também atuam como conectivos da paisagem, e mitigam os efeitos da fragmentação do ambiente natural sobre a biodiversidade (Santiago-Ramos e Hurtado-Rodríguez, 2021). Desta forma, o manejo de áreas verdes urbanas extrapola os limites estabelecidos por perímetros, mas considera cada área dentro de um sistema integrado da malha urbana e dos seus arredores, considerando que as áreas verdes urbanas podem funcionar como pontos de conexão entre áreas com cobertura nativa, de maiores tamanhos, encontradas na paisagem periurbana ou rural.

Assim, planejadores urbanos também devem considerar o entorno e o sistema de áreas verdes como um todo na administração e criação de áreas (Almeida et al., 2018). Para tal, a Secretaria de Meio Ambiente pode se aliar às secretarias de esportes, cultura, lazer e educação para a transformação do uso dos espaços urbanos, especialmente as áreas verdes (Kachinsk et al., 2018).

Contudo, é mister integrar esta transformação de forma igualitária para toda a população da cidade. Nota-se que alguns parques, por estarem localizados na zona sul da cidade (Biquinha, Água Vermelha e Campolim), notoriamente recebem maior atenção do poder público no que

tange à manutenção, segurança e aspectos estéticos, e são palco de mais atividades culturais e recebem mais visitantes. Já outras áreas, localizadas na zona oeste (Miguel Gregório e Ouro Fino) ou norte, conforme apontado por outros estudos (Kachinsk et al., 2021), são por vezes desconsideradas pelo poder público, por se apresentarem em regiões menos privilegiadas. Estas áreas carecem de cuidados com sua gestão, o que reflete na quantidade de visitantes recebidos, serviços culturais oferecidos, além de relatos sobre insegurança. A Floresta Cultural não recebe atenção do poder público, porém conta com uma ONG que auxilia na sua fiscalização e manejo.

Constata-se, então, que um ponto-chave na relação com a oferta de serviços é a gestão, ou o investimento em pessoas, recursos e cuidados que têm sido destinados a cada uma das áreas. A gestão desigual em parques de Sorocaba já foi apontada por estudos anteriores:

“Há, em Sorocaba, parques em piores condições de conservação e de oferta de infraestrutura e equipamentos, que acabam sendo subutilizados, em detrimento de parques localizados em áreas enobrecidas e valorizadas pelo mercado imobiliário, com maior concentração de renda no entorno e que, conseqüentemente, recebem mais atenção por parte do poder público e da iniciativa privada, que se desdobra em ações frequentes de conservação e na oferta, regular e diversificada, de programação de lazer, cultura e animação, resultando em maior frequência de utilização por residentes e visitantes. Atualmente, os parques não contam com a devida atenção, em seus aspectos de conservação, paisagismo e de infraestrutura com destaque para o Parque Vitória Régia, Parque do Ouro Fino, Parque Santa Bárbara (*Miguel Gregório*) e Parque do Paço. Estes parques urbanos mais periféricos carecem de equipamentos de recreação e atividades para crianças, assim como para os adultos. Os parques na zona oeste não possuem maiores cuidados na manutenção, segurança e infraestrutura.” (Kachinsk, 2018)

A gestão das áreas mostra-se, então, ainda imperiosa e atual quanto à garantia de fornecimento de serviços. É fundamental que seja investido na segurança e manutenção dos parques, para que os mesmos possam ser aproveitados por todos, ao passo que conservam os recursos naturais, pois estas são demandas da própria população (Germano et al., 2018; Kachinsk et al., 2021). Outras ações que podem aumentar a frequência de visitas aos parques é o oferecimento de mais atividades de lazer e recreação e aumento da arborização (Kachinsk et al., 2021).

Vale, por fim, também fazer um adendo: foram avistados animais domésticos em diversos parques. Alguns, como gatos (Campolim, parque da Biquinha, Água Vermelha, Ouro Fino, Miguel Gregório), estavam soltos; outros, como cachorros (Campolim, Parque das Águas), estavam presos, em coleira. A presença de animais domésticos em parques implica em três problemas principais: 1) o material fecal de animais pode estar contaminado e transmitir uma série de doenças, tanto para humanos quanto para a fauna nativa; 2) animais domésticos podem estar infectados com diversos vírus e outras doenças, e transmiti-los para a fauna nativa local;

e 3) animais domésticos são grandes predadores da fauna nativa, como de aves e pequenos mamíferos. Todos estes fatores podem levar à erradicação de uma ou mais espécies de animais nativos, o que por sua vez levaria a uma disrupção no ecossistema como um todo, ao se levar em conta espécies-chave e teias alimentares. Desta forma, são importantes a conscientização ambiental dos moradores do entorno quanto ao perigo dos animais domésticos, e os programas de castração comunitários, pois são despesas transformadas em saúde pública e conservação da integridade biótica de ecossistemas.

Conclusões

Foi provado que a metodologia (RAP) é factível, barata e rápida, e se traduz em dados utilizáveis e de interesse para os órgãos de gestão. Também foi comprovado que o protocolo é sensível e conseguiu avaliar diferenças entre as áreas.

A oferta de serviços ecossistêmicos foi notadamente diferente em cada área, e o protocolo pôde apontar as forças e fraquezas de cada uma. É desejado que o protocolo possa ser re-testado na estação em que foi calibrado (primavera), e testado em mais parques, em mais cidades, para que se façam comparações intra e intermunicipais mais robustas. Os dados obtidos podem ser utilizados para acompanhar o histórico de desenvolvimento dos parques, que podem até ser re-categorizados.

O fator que mais afeta o oferecimento de serviços ecossistêmicos é a presença de vegetação, especialmente a arbórea. Já o tamanho da área não está diretamente ligado ao oferecimento da maioria dos serviços ecossistêmicos; é de conhecimento comum que áreas maiores possuem maior integridade biótica, mas áreas grandes não são comuns em meio a uma matriz urbanizada.

A gestão também pode ser um fator determinante quanto ao aproveitamento dos serviços — parques que recebem mais atenção do poder público, ou de outros atores sociais voluntários, possuem uma oferta de mais qualidade para determinados serviços e maior usufruto da população. A oferta de serviços culturais está intimamente ligada à gestão, enquanto serviços de regulação e suporte dependem da presença de elementos naturais. Os serviços de provisão podem ser estimulados pela gestão (como no plantio de árvores frutíferas) ou mantidos (como na manutenção de nascentes e corpos d'água).

Por fim, o desenho e manejo das áreas verdes urbanas deve prever a promoção de cultura e bem-estar para a população, ao mesmo tempo em que contempla a conservação dos elementos naturais, para que as áreas sejam multifuncionais e completas. Caso não haja a possibilidade de criação de uma área multifuncional, deve-se pensar o sistema de áreas verdes urbanas de uma

região de forma integrada, para que diferentes áreas possam, em conjunto, atender a todas as necessidades da cidade.

Referências

ALMEIDA, C.M.V.B.; MARIANO, M.V.; AGOSTINHO, F.; LIU, G.y.; YANG, Z.F.; COSCIEME, L.; GIANNETTI, B.F.. Comparing costs and supply of supporting and regulating services provided by urban parks at different spatial scales. **Ecosystem Services**, [S.L.], v. 30, p. 236-247, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.07.003>.

BELAIRE, J. Amy; HIGGINS, Caitlin; ZOLL, Deidre; LIEBERKNECHT, Katherine; BIXLER, R. Patrick; NEFF, John L.; KEITT, Timothy H.; JHA, Shalene. Fine-scale monitoring and mapping of biodiversity and ecosystem services reveals multiple synergies and few tradeoffs in urban green space management. **Science of the Total Environment**, [S.L.], v. 849, p. 157801, nov. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157801>

COOPER, N.; BRADY, E.; STEEND, H.; BRYCED, R. Aesthetic and spiritual values of ecosystems: Recognising the ontological and axiological plurality of cultural ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 21, p.218-229, 2016.

DERKZEN, Marthe L.; VAN TEEFFELEN, Astrid J. A.; VERBURG, Peter H.. REVIEW: quantifying urban ecosystem services based on high resolution data of urban green space. **Journal of Applied Ecology**, [S.L.], v. 52, n. 4, p. 1020-1032, 17 jun. 2015. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1365-2664.12469>.

DUSHKOVA, Diana; IGNATIEVA, Maria; KONSTANTINOVA, Anastasia; YANG, Fengping. Cultural Ecosystem Services of Urban Green Spaces. How and What People Value in Urban Nature? **Springer Geography**, [S.L.], p. 292-318, 2021. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-75285-9_28.

GAUDERETO, Guilherme L.; GALLARDO, Amarilis L. C. F., FERREIRA, Maurício L., NASCIMENTO, Ana Paula B. D., & MANTOVANI, Waldir. Evaluation of Ecosystem Services and Management of Urban Green Areas: Promoting Healthy and Sustainable Cities. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, 2018. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0120r3vu18L4TD>

GERMANO, A. D.; HIGA, T. T.; SOUZA, E. A. B.; BRUN, F. G. K.. Avaliação de Percepção dos Usuários do Parque Municipal 'Miguel Gregório de Oliveira' da Cidade de Sorocaba- SP. In: Congresso Brasileiro de Arborização Urbana, 2014, Rio de Janeiro. XVIII CBAU, 2014.

GRACIANO-SILVA, Thaís. Análise e estabelecimento de índice de integridade biótica para florestas urbanas. 2016. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade na Gestão Ambiental, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.

HILDEBRAND, Elisabete; GRAÇA, Luiz R.; HOEFLICH, Vitor A. - Valoração contingente na avaliação econômica de áreas verdes urbanas. **FLORESTA** 32 n.1. pg.121-132, 2002. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v32i1.2353>

IBGE - Estimativas da população. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads> Acesso em 01 de fevereiro de 2023.

KACHINSK, K. V.; SANTOS, M. H. M. B. ; CARDOSO-LEITE, E. . Oferta de Parques Urbanos e Naturais em Sorocaba (SP): alavanca para políticas de uso público. **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v. 11, p. 467-490, 2018.

KACHINSKI, KLEBER VINÍCIUS BARROS; SANTOS, MARIA HELENA MATTOS BARBOSA DOS; CARDOSO-LEITE, ELIANA. Apropriação Social nos Parques Urbanos e Naturais em Sorocaba (SP). **Revista Brasileira de Ecoturismo**, v. 14, p. 696-716, 2021.

KOSANIC, A.; PETZOLD, J. A systematic review of cultural ecosystem services and human wellbeing. **Ecosystem Services**, v. 45, 2020.

LEMOS, A. L. F.; VITAL, M. H. F.; PINTO, M. A. C., As florestas e o painel de mudanças climáticas da ONU. **BNDES Setorial**, 32, 153-192, 2010.

LOBODA, C. R; ANGELIS, B. L. de - Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência**. Guarapuava, PR v.1 n.1 p. 125-139 jan./jun. 2005.

MALEKI, Kobra; HOSSEINI, Seyed M. Investigation of the Effects of Leaves, Branches and Canopies of Trees on Noise Pollution Reduction. **Annals of Environmental Science**, v. 5, pg. 13-21, 2011.

MELLO, Kaline de. Análise espacial de remanescentes florestais como subsídio para o estabelecimento de unidades de conservação. 2012. Dissertação (Mestrado em Diversidade biológica e conservação) – Programa de Pós-Graduação em Diversidade Biológica e Conservação, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba.

MELLO, Kaline de; TOPPA, Rogério H.; CARDOSO-LEITE, Eliana. Priority Areas for Forest Conservation in an Urban Landscape at the transition between Atlantic Forest and Cerrado. **Cerne**, [s.l.], v. 22, n. 3, p.277-288, set. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <https://doi.org/10.1590/01047760201622032172>

MOTA, Maurício Tavares da. - "Parques" em paisagem urbana, proposta de um sistema municipal integrando áreas verdes e áreas protegidas - Estudo de caso no Sudeste do Brasil. 2013. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba. Sorocaba, 2013.

MOTA, Maurício Tavares da, et. al. - Categorização da infraestrutura verde do município de Sorocaba (SP) para criação de um sistema municipal integrando espaços livres e áreas protegidas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** (online), [s.l.], n. 41, p.122-140, set. 2016. Zeppelini Editorial e Comunicação. <http://dx.doi.org/10.5327/Z2176-947820160121>

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA), 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. Copyright, World Resources Institute, 2005.

ROBERT, Amélie; YENGUÉ, Jean Louis. What Ideal Green Spaces for the City of Tomorrow, Providing Ecosystem Services? **Procedia Engineering**, [S.L.], v. 198, p. 116-126, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.076>.

O'KEEFFE, Jimmy; PLUCHINOTTA, Irene; STERCKE, Simon de; HINSON, Caitlin; PUCHOL-SALORT, Pepe; MIJIC, Ana; ZIMMERMANN, Nici; COLLINS, Alexandra M.. Evaluating natural capital performance of urban development through system dynamics: a case study from london. **Science Of The Total Environment**, [S.L.], v. 824, p. 153673, jun. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153673>.

VAN OORSCHOT, Janneke; SPRECHER, Benjamin; ZELFDE, Maarten van 'T; VAN BODEGOM, Peter M.; VAN OUDENHOVEN, Alexander P.e.. Assessing urban ecosystem services in support of spatial planning in the Hague, the Netherlands. **Landscape and Urban Planning**, [S.L.], v. 214, p. 104195, out. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104195>.

ORTA-ORTIZ, M. Susana; GENELETTI, Davide. What variables matter when designing nature-based solutions for stormwater management? A review of impacts on ecosystem services. **Environmental Impact Assessment Review**, [S.L.], v. 95, p. 106802, jul. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106802>.

SANTIAGO-RAMOS, Jesús; HURTADO-RODRÍGUEZ, Claudia. An Analysis of Ecosystem Services for the Design of a Green Infrastructure in the Metropolitan Area of Seville. In: Assessing Ecosystem Services Provision as a Support for Metropolitan Green Infrastructure Planning: the case of three spanish metropolitan areas. **Applied Spatial Analysis and Policy**, [S.L.], v. 15, n. 4, p. 1115-1141, 6 abr. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12061-022-09441-7>.

SONG, Peihao; KIM, Gunwoo; MAYER, Audrey; HE, Ruizhen; TIAN, Guohang. Assessing the Ecosystem Services of Various Types of Urban Green Spaces Based on i-Tree Eco. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 1630, 21 fev. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12041630>.

TEENBERG, James W.N.; DUINKER, Peter N.; NITOSLAWSKI, Sophie A.. Ecosystem-based management revisited: updating the concepts for urban forests. **Landscape and Urban Planning**, [S.L.], v. 186, p. 24-35, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.006>.

7 CONCLUSÃO GERAL

O protocolo foi construído à luz de uma extensa pesquisa bibliográfica. Ele está atualizado e consonante com as necessidades enfrentadas pelos órgãos gestores do meio-ambiente em cidades de médio a grande porte. Todos os indicadores foram adaptados para áreas urbanas e são coerentes com a realidade brasileira.

Foi provado que a metodologia dos indicadores é factível, de baixo custo e rápida implementação. Os dados coletados pelos indicadores são coerentes com os serviços ao qual foram atribuídos, e podem ser de interesse para os órgãos de gestão.

Também foi comprovado, por testes empíricos, que o protocolo é sensível e conseguiu avaliar diferenças entre as diferentes áreas verdes urbanas. Foi constatado que a cobertura arbórea influencia diversos serviços ecossistêmicos, e que a criação e manejo dos parques deve prever a promoção de cultura e bem-estar para a população ao mesmo tempo simultaneamente à a conservação da natureza, para que os parques sejam multifuncionais e completos.

Assim este protocolo poderá auxiliar e capacitar técnicos do poder público a avaliar as áreas verdes municipais e traduzir necessidades de manejo ou pontos de melhora.

É desejado que o protocolo possa ser, posteriormente, adaptado por outros pesquisadores para atender outras regiões, com históricos de urbanização e fitofisionomias distintas. Visto que os serviços ecossistêmicos ofertados são muito particulares para cada contexto, e é insensato tentar avaliá-los com uma metodologia universal. Então, o protocolo proposto pode ser importado para outra região como um exemplo e inspiração; contudo, as classes e descritores podem ser reavaliados e ajustados para o novo contexto, em conjunto com um painel de especialistas próprio.

REFERÊNCIAS

A-Fuller, R.; Irvine, K. N.; Devine-Wright, P.; Warren, P. H.; Gaston, K. J., 2007. Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biology Letters*, v. 3, (4), 390–394. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2007.0149>

Albert, C.; Galler, C.; Hermes, J.; Neuendorf, F.; von Haaren, C.; Lovett, A., 2016. Applying ecosystem services indicators in landscape planning and management: The ES-in-Planning framework. *Ecological Indicators*, v. 61, 100–113. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.029>

Barton, J.; Pretty, J., 2010. What is the best dose of nature and green exercise for improving mental health? A multi-study analysis. *Environmental Science & Technology*, v. 44, (10), 3947–3955. <https://doi.org/10.1021/es903183r>

Bolund, P.; Hunhammar, S., 1999. Ecosystem services in urban areas. *Ecological Economics: The Journal of the International Society for Ecological Economics*, v. 29, (2), 293–301. [https://doi.org/10.1016/s0921-8009\(99\)00013-0](https://doi.org/10.1016/s0921-8009(99)00013-0)

BOTZAT, Alexandra; FISCHER, Leonie K.; KOWARIK, Ingo. Unexploited opportunities in understanding liveable and biodiverse cities. A review on urban biodiversity perception and valuation. *Global Environmental Change*, [S.L.], v. 39, p. 220-233, jul. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.04.008>.

Bowler, D. E.; Buyung-Ali, L.; Knight, T. M.; Pullin, A. S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, v. 97, (3), 147–155. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.05.006>

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, 1994. Resolução n. 1, de 31 de janeiro de 1994. Diário Oficial da União, Brasília.

Bratman, G. N.; Daily, G. C.; Levy, B. J.; Gross, J. J., 2015. The benefits of nature experience: Improved affect and cognition. *Landscape and Urban Planning*, v. 138, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.005>

Breuste, J.; Schnellinger, J.; Qureshi, S.; Faggi, A., 2013. Urban Ecosystem services on the local level: Urban green spaces as providers. *Ekologia*, v. 32, (3), 290-304. <http://dx.doi.org/10.2478/eko-2013-0026>.

BRZOSKA, Patrycia, SP⁻AGE, Aiga,. From city- to site-dimension: Assessing the urban ecosystem services of different types of green infrastructure. *Land* 9(5), 150, 1–17. 2020. <https://doi.org/10.3390/land9050150>.

Budowski, G., 1965. Distribution of tropical american rain forest species in the light of sucesional processes. *Turrialba*, v. 15, (1), 40-42.

BURKHARD, Benjamin; KANDZIORA, Marion; HOU, Ying; MÜLLER, Felix. Ecosystem service potentials, flows and demands-concepts for spatial localisation, indication and quantification. **Landscape Online**, [S.L.], v. 34, p. 1-32, 2 jun. 2014. *Landscape Online*. <http://dx.doi.org/10.3097/lo.201434>.

Calderón-Contreras, R.; Quiroz-Rosas, L. E., 2017. Analysing scale, quality and diversity of green infrastructure and the provision of Urban Ecosystem Services: a case from Mexico City. *Ecosystem Services*, v. 23, 127-137. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2016.12.004>.

CAMPAGNE, C. Sylvie; ROCHE, Philip; MULLER, Felix; BURKHARD, Benjamin. Ten years of ecosystem services matrix: Review of a (r)evolution. **One Ecosystem 5**: e51103. 2020. <https://doi.org/10.3897/oneeco.5.e51103>

Cardoso-Leite, E.; Arruda, E. M.; Galvani, F. M.; Valente, R. A., 2022. Relationship between forest integrity, drainage headboards and patch-level metrics as subsidy for planning and conservation in fragmented Atlantic Forest areas. *Research, Society and Development*, v. 11(9), e33211931744. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31744>

Chang, C.; Li, M.; Chang, S., 2007. A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape Urban Planning*, v. 80, 386–395. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.09.005>.

Cox, D.T.; Shanahan, D.F.; Hudson, H.L.; Plummer, K.E.; Siriwardena, G.M.; Fuller, R.A.; Anderson, K.; Hancock, S.; Gaston, K.J., 2017. Doses of neighborhood nature: the benefits for mental health of living with nature. *Bioscience*, v. 67, (2), 147–155. <https://doi.org/10.1093/biosci/biw173>.

Dallimer, M.; Irvine, K. N.; Skinner, A. M. J.; Davies, Z. G.; Rouquette, J. R.; Maltby, L.; Warren, P. H.; Armsworth, P. R.; Gaston, K. J., 2012. Biodiversity and the Feel-Good Factor: understanding associations between self-reported human well-being and species richness. *Bioscience*, v. 62, (1), 47-55. <http://dx.doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.9>.

Daniels, B.; Zaunbrecher, B. S.; Paas, B.; Ottermanns, R.; Ziefle, M.; Roß-Nickoll, M., 2018. Assessment of urban green space structures and their quality from a multidimensional perspective. *The Science of the Total Environment*, v. 615, 1364–1378. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.167>

DOBBS, Cinnamon; ESCOBEDO, Francisco J.; ZIPPERER, Wayne C.. A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. **Landscape And Urban Planning**, [s.l.], v. 99, n. 3-4, p.196-206, mar. 2011. Elsevier BV.

Galvani, F. M.; Graciano-Silva, T.; Cardoso-Leite, E., 2020. Is biotic integrity of urban forests remnants related with their size and shape? *CERNE*, v. 26, (1), 9–17. <https://doi.org/10.1590/01047760202026012674>

Gaudereto, G. L.; Gallardo, A. L. C. F.; Ferreira, M. L.; Do Nascimento, A. P. B.; Mantovani, W., 2019. Avaliação de serviços ecossistêmicos na gestão de áreas verdes urbanas: promovendo cidades saudáveis e sustentáveis. *Ambiente e Sociedade*, v. 21, (01203). <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0120r3vu18L4TD>

Giacon, V. P.; Valente, R. A.; Cardoso-Leite, E., 2022. Association between urbanization and the biotic integrity of urban forest remnants. *Ambiente & sociedade*, v. 25. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20200053r4oa>

Gómez-Baggethun, E.; Barton, D. N., 2013. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, v. 86, 235-245. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>.

Grizzetti, B.; Liqueste, C.; Antunes, P.; Carvalho, L.; Geamăna, N.; Giucă, R.; Leone, M.; McConnell, S.; Preda, E.; Santos, R.; Turkelboom, F.; Vădineanu, A.; Woods, H., 2016. Ecosystem services for water policy: Insights across Europe. *Environmental Science & Policy*, v. 66, 179–190. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.09.006>

Grunewald, K.; Bastian, O., 2017. Maintaining Ecosystem Services to Support Urban Needs. Editorial of Special Issue. *Sustainability*, v. 9, 1647. <https://doi.org/10.3390/su9091647>

GRUNEWALD, K.; BASTIAN, O.; LOUDA, J.; ARCIDIACONO, A.; BRZOSKA, P.; BUE, M.; CETIN, N.I.; DWORCZYK, C.; DUBOVA, L.; FITCH, A.. Lessons learned from implementing the ecosystem services concept in urban planning. **Ecosystem Services**, [S.L.], v. 49, p. 101273, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101273>.

HAASE, Dagmar; LARONDELLE, Neele; ANDERSSON, Erik; ARTMANN, Martina; BORGSTRÖM, Sara; BREUSTE, Jürgen; GOMEZ-BAGGETHUN, Erik; GREN, Åsa; HAMSTEAD, Zoé; HANSEN, Rieke. A Quantitative Review of Urban Ecosystem Service Assessments: concepts, models, and implementation. **Ambio**, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 413-433, 17 abr. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-014-0504-0>.

Hedblom, M.; Heyman, E.; Antonsson, H.; Gunnarsson, B., 2014. Bird song diversity influences young people's appreciation of urban landscapes. *Urban For. Urban Green.*, v. 13, 469–474. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2014.04.002>

Hofmann, M.; Westermann, J.R.; Kowarik, I.; Van der Meer, E., 2012. Perceptions of parks and urban derelict land by landscape planners and residents. *Urban Forestry and Urban Greening*, v. 11, 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.04.001>.

Hong, W.; Guo, R., 2017. Indicators for quantitative evaluation of the social services function of urban greenbelt systems: A case study of Shenzhen, China. *Ecological Indicators*, v. 75, 259-267. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.12.044>

Huang, L.; Li, J.; Zhao, D.; Zhu, J., 2008. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. *Build. Environ.*, v. 43, (1), 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.11.025>.

KLEINSCHROTH, Fritz; KOWARIK, Ingo. COVID-19 crisis demonstrates the urgent need for urban greenspaces. **Frontiers In Ecology And The Environment**, [S.L.], v. 18, n. 6, p. 318-319, ago. 2020. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/fee.2230>.

Klemm, W.; Heusinkveld, B.G.; Lenzholzer, S.; Jacobs, M.H.; Van Hove, B., 2015. Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in the Netherlands. *Build. Environment*, v. 83, 120–128. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.05.013>

Kong, F.; Sun, C.; Liu, F.; Yin, H.; Jiang, F.; Pu, Y.; Cavan, G.; Skelhorn, C.; Middel, A.; Dronova, I., 2016. Energy saving potential of fragmented green spaces due to their temperature regulating ecosystem services in the summer. *Applied Energy*, v. 183, 1428–1440. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.070>

Laforteza, R.; Carrus, G.; Sanesi, G.; Davies, C., 2009. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. *Urban For. Urban Greening*, v. 8, (2), 97–108. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.02.003>.

Latifi, H.; Fassnacht, F. E.; Hartig, F.; Berger, C.; Hernández, J.; Corvalán, P.; Koch, B., 2015. Stratified aboveground forest biomass estimation by remote sensing data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 38, 229-241. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2015.01.016>.

Lehmann, I.; Mathey, J.; Röbller, S.; Bräuer, A.; Goldberg, V., 2014. Urban vegetation structure types as a methodological approach for identifying ecosystem services – Application to the analysis of micro-climatic effects. *Ecological Indicators*, v. 42, 58-72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.036>.

Lindemann-Matthies, P.; Bose, E., 2007. Species richness, structural diversity and species composition in meadows created by visitors of a botanical garden in Switzerland. *Landscape Urban Planning*, v. 79, 298–307. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.03.007>

Lindemann-Matthies, P.; Junge, X.; Matthies, D., 2010. The influence of plant diversity on people's perception and aesthetic appreciation of grassland vegetation. *Biological Conservation*, v. 143, (1), 195-202. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocon.2009.10.003>.

Liu, Y.; Wang, R.; Lu, Y.; Li, Z.; Chen, H.; Cao, M.; Zhang, Y.; Song, Y., 2020. Natural outdoor environment, neighbourhood social cohesion and mental health: Using multilevel structural equation modelling, streetscape and remote-sensing metrics. *Urban Forestry and Urban Greening*, v. 48, 126576. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.126576>.

Lundh, J., 2017. Indicators for ecosystem services in urban green space management. *Ulls väg*. 27, 75007.

MACE, Georgina M.; NORRIS, Ken; FITTER, Alastair H.. Biodiversity and ecosystem services: a multilayered relationship. **Trends In Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 27, n. 1, p.19-26, jan. 2012. Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.08.006>

Maes J.; Teller A.; Erhard M.; Grizzetti B.; Barredo J.I.; Paracchini M.L.; Cond'e S.; Somma F.; Orgiazzi A.; Jones A., et al., 2018. Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services: An analytical framework for ecosystem condition. Publications office of the European Union. <https://doi.org/10.2779/055584>.

Massoni, E.S.; Barton, D.N.; Rusch, G.M.; Gundersen, V., 2018. Bigger, more diverse and better? Mapping structural diversity and its recreational value in urban green spaces. *Ecosyst. Serv.*, v. 31 (C), 502–516. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.02.013>.

McPhearson, T.; Andersson, E.; Elmqvist, T.; Frantzeskaki, N., 2015. Resilience of and through urban ecosystem services. *Ecosyst. Serv.*, v. 12, 152–156 <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2014.07.012>

Methorst, J.; Rehdanz, K.; Mueller, T.; Hansjürgens, B.; Bonn, A.; Böhning-Gaese, K., 2021. The importance of species diversity for human well-being in Europe. *Ecol. Econ*, v. 181, 106917. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106917>

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (MEA), 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC. Copyright, World Resources Institute, 2005.

Mononen, L.; Auvinen, A.; Ahokumpu, A.; Rönkä, M.; Aarras, N.; Tolvanen, H.; Kamppinen, M.; Viirret, E.; Kumpula, T.; Vihervaara, P., 2016. National ecosystem service

indicators: Measures of social–ecological sustainability. *Ecological Indicators*, v. 61, 27-37. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.03.041>

MUÑOZ-PACHECO, Catalina B.; VILLASEÑOR, Nélida R. Urban Ecosystem Services in South America: a systematic review. *Sustainability*, [S.L.], v. 14, n. 17, p. 10751, 29 ago. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su141710751>.

Nowak, D.J.; Greenfield, E.J.; Hoehn, R.E.; Lapoint, E., 2013. Carbon storage and sequestration by trees in urban and community areas of the United States. *Environ. Pollut*, v. 178, 229-236. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.019>.

O’Sullivan, O.S.; Holt, A.R.; Warren, P.H.; Evans, K.L., 2017. Optimising UK urban road verge contributions to biodiversity and ecosystem services with cost-effective management. *J. Environ. Manage.* v. 191, 162–171. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.12.062>.

Palliwoda, J.; Kowarik, I.; Lippe, M. Vd., 2017. Human-biodiversity interactions in urban parks: the species level matters. *Landscape and Urban Planning*, v. 157, 394-406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.09.003>.

Panasolo, A.; Galvão, F.; Higachi, H. Y.; Oliveira, E. B.; Campos, F.; Wroblewski, A., 2019. Percepção dos serviços ecossistêmicos de áreas verdes urbanas de Curitiba/PR. *Biofix*, v. 4, (1), 70-80. <http://dx.doi.org/10.5380/biofix.v4i1.64451>

Pedro, C. M.; Silva, F. C. S.; Batista, A. C.; Viola, M. R.; Coelho, M. C. B.; Giongo, M., 2019. Supplying and decomposition of burlap in a fragment of Cerrado sensu stricto. *Floresta*, v. 49, (2), 237. <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v49i2.57011>.

Potcher, O.; Cohen, P.; Bitan, A., 2006. Climatic behavior of various urban parks during hot and humid summer in the mediterranean city of Tel Aviv. Israel. *Int. J. Climatol*, v. 26, 1695–1711. <https://doi.org/10.1002/joc.1330>.

Queiroz, D. A. H. De O.; Carvalho, S. M., 2019. Avaliação da qualidade das áreas verdes urbanas de Ponta Grossa - PR, Brasil. *Terr@Plural*, v. 13, (3), 217-236. [doi:10.5212/TerraPlural.v.13i3.0015](https://doi.org/10.5212/TerraPlural.v.13i3.0015)

Reilly, K., 2018. How forests help cities manage water. *Revolve*, v. 27, 25-31. https://issuu.com/revolve-magazine/docs/revolve_27_digital

Rocha, S. M.; Zulian, G.; Maes, J.; Thijssen, M., 2015. Mapping and assessment of urban ecosystems and their services; European Commission technical reports. <https://doi.org/10.2788/638737>

Santos-Eurich, Z. R.; Carvalho, S. M., 2014. Análise quali-quantitativa da arborização e infraestrutura de praças da cidade de Ponta Grossa-PR. *RevSbau*, v. 9, 29. <http://dx.doi.org/10.5380/revsbau.v9i3.63224>

SCHEWENIUS, Maria; MCPHEARSON, Timon; ELMQVIST, Thomas. Opportunities for Increasing Resilience and Sustainability of Urban Social–Ecological Systems: insights from the urbes and the cities and biodiversity outlook projects. *Ambio*, [S.L.], v. 43, n. 4, p. 434-444, 17 abr. 2014. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13280-014-0505-z>.

Shanahan, D. F.; Cox, D. T. C.; Fuller, R. A. R. A.; Hancock, S.; Lin, B. B.; Anderson, K.; Bush, R.; Gaston, K. J., 2017. Variation in experiences of nature across gradients of tree cover in compact and sprawling cities. *Landscape Urban Planning*, v. 157, 231–238. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.07.004>.

Silva, R. T.; Fleskens, L.; Van Delden, H.; Ploeg, M. VD., 2018. Incorporating soil ecosystem services into urban planning: status, challenges and opportunities. *Landscape Ecology*, v. 33, (7), 1087-1102. <http://dx.doi.org/10.1007/s10980-018-0652-x>

Stovin, V. R.; Jorgensen, A.; Clayden, A., 2008. Street trees and stormwater management. *Arboric. J*, v. 30, 297-310. <http://dx.doi.org/10.1080/03071375.2008.9747509>.

Syrbe, R.-U.; Neumann, I.; Grunewald, K.; Brzoska, P.; Louda, J.; Kochan, B.; Mach´ac, J.; Dubov´a, L.; Meyer, P.; Brabec, J.; Bastian, O., 2021. The Value of Urban Nature in Terms of Providing Ecosystem Services Related to Health and Well-Being: An Empirical Comparative Pilot Study of Cities in Germany and the Czech Republic. *Land*, v. 10, 4. <https://doi.org/10.3390/land10040341>.

Uka, U. N.; Mohammed, H. A.; Ovie, S. I., 2009. Current diversity of aquatic macrophytes in nigerian freshwater ecosystem. *BJAST*, v. 13, (2), 9. <http://dx.doi.org/10.14210/bjast.v13n2.p9-15>.

Venter, Z.; Barton, D.; Gundersen, V.; Figari, H.; Nowell, M., 2020. Urban nature in a time of crisis: recreational use of green space increases during the COVID–19 outbreak in Oslo, Norway. *Environmental Research Lett.* v. 15, 104075. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abb396>.

Volker, S.; Kistemann, T., 2001. The impact of blue space on human health and wellbeing – Salutogenetic health effects of inland surface waters: a review. *Int. J. Hyg. Environmental Health*, v. 214, (6), 449–460. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2011.05.001>

WHO., 2010. *Global Recommendations on Physical Activity for Health*. World Health Organization, Geneva.

Zhang, Y.; Van den Berg, A.E.; Van Dijk, T.; Weitkamp, G., 2017. Quality over quantity: contribution of urban green space to neighborhood satisfaction. *Int. J. Environmental Research Public Health*, v. 14, 535. <https://doi.org/10.3390/ijerph14050535>

APÊNDICE A – Literature key-aspects for protocol construction

Esta tabela de referências foi enviada como documento suplementar no artigo “Assessing Ecosystem Services in Urban Green Areas and Urban Forests - Rapid Assessment Protocol for cities” e apresenta pontos-chave encontrados na literatura que ajudaram a selecionar os melhores indicadores para cada serviço ecossistêmico.

Indicator	Key findings	References
Aesthetic (Water)	<ul style="list-style-type: none"> • Water-bodies presence and quality are important landscape elements. • Water bodies arouse contemplative and aesthetic interest — they affect nature perception and permit physical and mental recreation. • Colour and clarity affect public perceptions; in opposition, litter abundance and clandestine sewage dumps cause a reverse effect on aesthetic pleasure. • Macrophytes infestation leads to ecosystem disruption and recreation restriction. 	Grunewald & Bastian, 2017; Haase, 2015; Massoni et al., 2018; Queiroz & Carvalho, 2019; Uka et al., 2009; Volker & Kistemann, 2001.
Aesthetic (Flowers)	<ul style="list-style-type: none"> • Plant experimentation is highly appreciated. • Aesthetic value is a reason given for natural-landscapes conservation. • People appreciate plants with large, brightly coloured flowers. • Decorative flowers, mixed with the green matrix, compose an ideal and beautiful landscape. • Diversity arouses creativity and appreciation. The richer the biotic community, the more it is appealing to people, and greater the restorative effects. 	A Fuller et al., 2007; Dallimer et al., 2012; Hofmann et al., 2012; Daniels et al., 2018; Lindemann-Matthies & Bose, 2007; Lindemman-Matthies et al., 2010; Lundh, 2017; Methorst et al., 2021; Rocha, 2015; Santos-Eurich & Carvalho, 2014; Schewenius et al., 2014; Syrbe et al., 2021; Zhang et al., 2017.

<p>Aesthetic (Attractive animals)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fauna appearance has recreational values. Birds and butterflies attract people. • Higher bird and butterfly richness enhance psychological well-being and restorative effects. • People appraise birds as one of the favourite biological outdoors elements. Birds are valued for their easy-to-observe physical beauty and interesting behaviour. Their abundance and richness are also associated with life satisfaction. 	<p>A Fuller et al., 2007; Bolund & Hunhammar, 1999; Cox et al., 2017; Dallimer et al., 2012; Hofmann et al., 2012; Maes et al., 2018; Methorst et al., 2021; Mononen et al., 2016; Palliwoda et al., 2017; Schewenius et al., 2014; Syrbe et al., 2021.</p>
<p>Comfort (Accessibility)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Distance affects visitation. People are more likely to visit an area with easier and quicker access. Most visitants come from a distance within a 1km radius to their houses, reachable within five minutes on foot. • Physical accessibility is a design criterion for urban green spaces. • Residents with higher availability of green areas close to home are more prone to experience nature, more satisfied with their neighbourhood, and are more active during workdays. 	<p>Breuste et al., 2013; Calderón-Contreras & Quiroz-Rosas, 2017; Grunewald & Bastian, 2017; Hofmann et al., 2012; Hong & Guo, 2017; Methorst et al., 2021; Queiroz & Carvalho, 2019; Shanahan et al., 2017; Syrbe et al., 2021; Venter et al., 2020; Zhang, et al., 2017.</p>
<p>Recreation (Activities and events)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Different types of events and activities permit individuals to socialise and experience the current culture. • Individuals widely visit parks to meet others or cultivate neighbourhood relationships. 	<p>Liu et al., 2020; Massoni et al., 2018; Syrbe et al., 2021</p>
<p>Health (Walking trails)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • The World Health Organisation recommends nature walks: they improve cognitive benefits, well-being, positive mood and self-esteem, and reduce stress and depression. • Outdoor exercise improves the ability to cope with new pathogens. • Trails surrounded by green arouse people to exercise more regularly. • Dwellers value the presence of walking or cycle paths in the neighbourhood. 	<p>Albert et al., 2016; Barton & Pretty, 2010; Bratman et al., 2015; Kleinschoth & Kowarik, 2020; Liu et al., 2020; Lundh, 2017; Massoni et al., 2018; Venter et al., 2020; WHO, 2010</p>

<p>Health (Bird vocalizations)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Bird richness positively relates to life satisfaction and enhances well-being. People perceive birds due to their pleasant and highly appreciated songs. • Hearing birds and water sounds provides restorative effects e.g. attention improvement and stress recovery. 	<p>A Fuller et al., 2007; Cox et al., 2017; Hedblom et al., 2014; Hofmann et al., 2012; Lundh et al., 2017; Methorst et al., 2021</p>
<p>Education (Guided visitation)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • History of use for educational proposals and presence of educational infrastructure are adequate education indicators. • Environmental education sheds light on the importance of conservation measures. 	<p>Lindemann-Mathies & Bose, 2007; Lundh, 2017; Mace et al., 2016; MEA, 2005; Shanahan et al., 2017.</p>
<p>Food (Fruit trees)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Fruit-trees arouses nature manipulation, in contrast to the transformation of nature into a static and untouchable showcase; • Fruit harvested in urban green areas is potentially safe for consumption. • Increased food biodiversity enhances nutrition security. 	<p>Gaudereto et al., 2019; O’Sullivan et al., 2017; Palliwoda et al., 2017; Rocha et al., 2015; Schewenius et al., 2014.</p>
<p>Water (Springs)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Safe water is a basic material for a good life. • Protecting springs is more feasible economically than investing in purification systems. 	<p>Grizzetti et al., 2016; MEA, 2005; Reilly, 2018</p>
<p>Global climate mitigation (Carbon sequestration)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Since trees store carbon fixed during photosynthesis as biomass, carbon sequestration is achieved through reforestation and management of pre-existing forests. Hence, carbon storage is directly related to the amount of tree cover; • When trees reach their maximal growth potential, carbon sequestration increases, which contributes to climate change mitigation; • For each hectare of Semideciduous Seasonal Forest (SSF) standing, it is estimated that 108 tC/ha are stored in the aerial part and more 120 tC/ha in the soil • Urbanisation and population growth results in small and sparse green areas, with probable physical quality decline. A high biotic integrity guarantees a fragment's survival over time. There is a relation between forest fragment size and biotic integrity. Areas with at least 20ha can present, along with proper management, high integrity. 	<p>Cardoso-Leite et al. 2022; Galvani et. al, 2020; Giacom et al. 2022; Lemos et al., 2010; Nowak et. al., 2013; O’Sullivan et. al., 2017; Schewenius et. al., 2014; Shanahan et. al., 2017; Syrbe et. al., 2021.</p>
<p>Local climate amelioration (Temperature)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • People priorities microclimatic regulation. Trees moderate temperature providing humidity and shade. 	<p>Bolund & Hunhammar, 1999; Bowler et al., 2010;</p>

<p>Local climate amelioration (Shading)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Green infrastructure absorbs heat through evapotranspiration and ameliorates heat-stress features and moderate urban-heat-island (UHI) effects. • Cooling effects provided by green areas save buildings energy costs. • People evaluate UGAs as thermally comfortable in contrast to urban “grey” areas. Temperatures gradually increase the farther the green areas get. • Sealed surfaces such as asphalt have higher heat storage capacity and retain heat when exposed to solar radiation. The greater the paved surface, the warmer the air-layer temperature on the near-surface gets. On the other hand, trees intercept solar radiation and provide shade, which relates to thermal comfort and landscape improvement. • Tree coverage influence thermal variance among urban green areas. An area with dense tree coverage has the maximum cooling effect. An area with medium tree coverage also reduces temperatures, albeit less. An area covered only with grass is warmer than an area with tree canopy. • In conclusion, the higher the green volume, the higher the temperature reduction; the cooler the park, the greater the improvement of the outdoor space. 	<p>Breuste et al., 2013; Bzroska et al., 2021; Chang et al., 2007; Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Grunewald & Bastian, 2017; Huang et al., 2008; Klemm et al., 2015; Kong et al., 2016; Laforzezza et al., 2009; Lehmann, 2014; Nowak et al., 2013; Panasolo et al., 2019; Potcher et al., 2006; Santos-Eurich & Carvalho, 2014; Syrbe et al., 2021</p>
<p>Erosion control (Protected soil)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vegetation cover and non-disturbed soil contribute to erosion control by diminishing the impact of raindrops on surfaces; thus, they prevent landslides. 	<p>Burkhard et al., 2012; Mononen et al., 2016; O’Sullivan et al., 2017; Stovin & Clayden, 2008.</p>
<p>Flood prevention (Draining soil)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Urban growth exposes more portions of land to extreme events. If the ecosystem cannot buffer those disasters, there may be losses in the economy and life. • If soils are sealed, river volume increases during storms, resulting in more intense and potentially disastrous precipitation events. Moreover, floods contaminate water bodies through the pick-up of urban street litter. • Unsealed soils and green infrastructure permit water to infiltrate instead of flow as surface runoff, reducing the pressure on urban drainage systems. 	<p>Bolund & Hunhammar, 1999; Dobbs et al., 2011; Gaudereto et al., 2019; Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Maes et al., 2018; McPhearson et al., 2015; MEA, 2005; Rocha, 2015; Silva et al., 2018; Stovin & Clayden, 2008; Syrbe et al., 2021</p>
<p>Noise pollution reduction</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Noise levels (dB (A)) indicate pressures due to the consistent increase in traffic noise; 	<p>Bolund & Hunhammar, 1999; Gómez-Baggethun & Barton, 2013;</p>

(Noise)	<ul style="list-style-type: none"> • Conventional noise abatement methodology has been demonstrated to be economically infeasible. • Vegetation barriers diminish noise levels through insertion loss.¹ A relatively narrow green strip provides a measurable noise reduction. 	Harris & Cohn, 1985; Maes et al., 2018; Massoni et al., 2018; O'Sullivan et al., 2017; Queiroz & Carvalho, 2019
Water cycle maintenance (Canopy)	<ul style="list-style-type: none"> • Deforestation turns trees into CO₂ sources, and leads to global warming and desertification, hence reducing local precipitation. A rainfall-rate drop reduces reservoirs supply and menaces urban forests, whose existence depends on precipitation. The relation between tree loss and rainfall drop leads to a positive feedback loop. • Vegetation cover influences useable water availability. Tree density, vegetation cover percentage and vegetation structure indicate hydrological cycle maintenance. 	Brzoska et al., 2021; Gómez-Baggethun & Barton, 2013; Maes et al., 2018; MEA, 2005; Nowak et al., 2013; Rocha et al., 2015; Queiroz & Carvalho, 2019.
Primary production (Stratification)	<ul style="list-style-type: none"> • A mature forest must contain several strata. Canopy cover reduces sunlight incidence in lower strata, which preserves humidity and guarantees mild temperatures; therefore, species may develop balanced. • More strata guarantee more biomass, which increases soil protection effect due to vegetation cover. 	Brasil, 1994; Budowski, 1965; Giacomini et al., 2022; Latifi et al., 2015.
Nutrient cycling (Litterfall)	<ul style="list-style-type: none"> • Litterfall (plant material deposited on the soil surface) stores and releases nutrients through decomposition. Nutrient cycling produces high-quality soils, which improve forest recovery potential; • Litterfall acts like a protective cover to soil disturbances, maintains its moisture and reduces erosion and fire risks. 	Gaudereto et al., 2019; MEA, 2005; Pedro et al., 2019.

¹ Insertion loss: noise-levels difference measured before and after a vegetation barrier insertion.