

**PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO PARANÁ  
ESCOLA DE BELAS ARTES  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO URBANA – PPGTU**

**ANA PAULA COELHO SCHIMALESKI**

**ABORDAGEM ECOSSISTÊMICA INTERATIVA APLICADA AO PLANEJAMENTO  
DE MANANCIAS HÍDRICOS URBANOS**

**CURITIBA**

**2022**

**ANA PAULA COELHO SCHIMALESKI**

**ABORDAGEM ECOSISTÊMICA INTERATIVA APLICADA AO PLANEJAMENTO  
DE MANANCIAS HÍDRICOS URBANOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana da Pontifícia Universidade Católica do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de doutora em Gestão Urbana.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Mello Garcias.

**CURITIBA**

**2022**

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central  
Pamela Travassos de Freitas – CRB 9/1960

S335a Schimaleski, Ana Paula Coelho  
2022 Abordagem ecossistêmica interativa aplicada ao planejamento de mananciais  
hídricos urbanos / Ana Paula Coelho Schimaleski ; orientador: Carlos Mello  
Garcias. – 2022.  
149 f. : il. ; 30 cm

Tese (doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba,  
2022  
Bibliografias: f. 137-149

1. Desenvolvimento de recursos hídricos. 2. Água – Conservação.  
3. Planejamento urbano. I. Garcias, Carlos Mello. II. Pontifícia Universidade  
Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana. III. Título.

CDD 21. ed. – 333.91

## TERMO DE APROVAÇÃO

### “ABORDAGEM ECOSISTÊMICA INTERATIVA APLICADA AO PLANEJAMENTO DE MANANCIAS HÍDRICOS URBANOS”

Por

**ANA PAULA COELHO SCHIMALESKI**

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora no Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana, área de concentração em Gestão Urbana, da Escola de Belas Artes, da Pontifícia Universidade Católica do Paraná.



Prof. Dr. Paulo Nascimento Neto  
Coordenador do PPGTU/PUCPR



Prof. Dr. Carlos Mello Garcias  
Orientador – PPGTU/PUCPR



Prof. Dr. Clovis Ultramari  
Membro Interno - PPGTU/PUCPR



Prof. Dr. Denis Alcides Rezende  
Membro Interno - PPGTU/PUCPR



Profª. Dra. Luciana Rodrigues Fagnoni Costa Travassos  
Membro Externo – UFABC



Profª. Dra. Nilvania Aparecida de Mello  
Membro Externo – UTFPR

Curitiba, 26 de setembro de 2022.

Dedico este trabalho à todas as pessoas que têm a missão de promover o uso sustentável das águas.

## AGRADECIMENTOS

Após a finalização da escrita desse trabalho, eu posso afirmar a todos aqueles que se aventuram na vida acadêmica que o período de construção de uma tese não é simples para nenhum de nós: a vida continua correndo nos seus milhões de desdobramentos e problemáticas, nas alegrias e tristezas que preenchem os nossos dias. Para mim não foi diferente, mas desistir não é uma opção quando temos boa vontade e uma ideia que merece ser defendida. Nesse esforço de superação, a gratidão é um sentimento que ilumina o meu coração e aqui eu deixo meus agradecimentos àqueles que foram imprescindíveis e tiveram parte na concretização deste documento.

Agradeço a força divina que preenche nosso universo e nos dá as oportunidades para sermos nossa melhor versão. Obrigada, Senhor, por todo o aprendizado e experiência de vida que eu tive nesses últimos quatro anos. Obrigada pela luz e amparo durante essa caminhada. Obrigada pelo teu amor que sinto comigo a todo instante.

Ao meu professor Carlos Mello Garcias dedico profunda gratidão por me acompanhar e orientar já há sete anos, sempre com muita confiança e respeito. O senhor é uma pessoa dotada de uma sensibilidade e comprometimento acadêmico que refletem os valores cristãos e maristas, sendo um grande exemplo para mim e para meus colegas orientados por ti. O senhor esteve comigo nos períodos mais difíceis de minha vida até então, não me deixando esmaecer, sempre lembrando-me que minha ideia é autêntica e essencial para o planejamento de nossos recursos hídricos. Esta tese também é sua.

À minha família amada, representada pelos meus pais, meu avô João e minha irmã Ana Carolina, agradeço por todo amparo em educação que vocês têm me dado desde sempre e por torcer por mim. Obrigada por suas orações e por sempre me lembrar da minha vocação como professora.

Ao meu esposo Rafael, que eu conheci logo quando havia entrado no doutorado e faz parte das coisas boas que a vida me trouxe nesse período, sou muito grata por sempre estar ao meu lado, motivando-me a crescer e lembrando-me do valor de meu trabalho. Se hoje tenho sido bem-sucedida em minha profissão e tenho concluído minha tese, muito foi por teu amparo e motivação nesse período. O universo permitiu que juntos pudéssemos ir mais longe.

À PUCPR, por ter sido minha escola de formação desde a graduação e por ter alimentado em mim os valores cristãos, sob a perspectiva marista, mantenho também profunda gratidão. Ao Programa de Pós-Graduação em Gestão Urbana e ao Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres (CEPED), agradeço a bolsa de isenção de mensalidade que me permitiu desenvolver o doutorado.

Aos meus colegas de PPGTU, com quem tive o prazer de compartilhar os períodos de aulas e apresentações, cada um especial do seu jeito. Eu aprendi muito com cada um de vocês, gratidão pela amizade e por se interessarem tanto pelo meu tema de estudo. Sinto muito pela distância que a pandemia de Covid nos colocou e desejo todo o sucesso para cada um de vocês.

Agradeço a todos os professores do PPGTU e externos que tive a honra de conhecer e aprender durante essa caminhada, obrigada pelo respeito e dedicação com que desempenham sua tarefa no campo da gestão urbana e pelas oportunidades e confiança que depositaram em mim.

Obrigada aos professores que aceitaram com tanta gentileza participar da banca de defesa de minha tese, eu tenho muito a aprender com vocês.

E por fim não posso deixar de agradecer à Pollyana, secretária do PPGTU, que sempre desempenhou seu suporte com tanta atenção e agilidade, você é um anjo para nós, obrigada por todo o apoio ao longo desse tempo.

A água carrega a memória de onde passou (GARCIAS, 2019).

## RESUMO

Este trabalho teve sua origem na observação da problemática que envolve a degradação e perda dos mananciais periurbanos localizados na região metropolitana de Curitiba, bem como nas constatações e recomendações de trabalhos futuros pela dissertação de mestrado que antecedeu esta tese. Neste quesito, encontra-se na literatura uma ampla discussão para valorização dos serviços ecossistêmicos relacionados à provisão hídrica, incluindo a adoção de soluções baseadas na natureza e técnicas de conservação de áreas de mananciais (abordagem ecossistêmica). Mas, políticas de recursos hídricos no Brasil e a literatura científica ainda são pobres em apresentar em seu conteúdo uma interação entre soluções de infraestruturas cinzas, mistas e naturais de maneira complementar uma à outra, tendo como denominador comum o fortalecimento dos serviços ecossistêmicos. Para tanto essa tese propõe uma abordagem teórica de interação entre as soluções cinzas, mistas e naturais exemplificada ao planejamento de mananciais hídricos e defende a ideia de que as infraestruturas cinzas também podem ser promotoras de serviços ecossistêmicos, desde que planejadas tendo como premissa a abordagem ecossistêmica para o equilíbrio ambiental (abordagem ecossistêmica interativa). A metodologia do trabalho envolve um processo de construção teórica por meio de similitudes entre os serviços ecossistêmicos adquiridos por meio da natureza e os benefícios advindos de infraestruturas cinzas e mistas, adotando-se o método teórico (puro), dedicando-se a avançar a teoria e aprofundar os conceitos de "abordagem ecossistêmica" e "serviços ecossistêmicos". Como área de estudo foi adotada a bacia hidrográfica do rio Miringuava, localizada no município de São José dos Pinhais. Trata-se de conceitos criados pela discussão teórica deste trabalho a "abordagem ecossistêmica interativa" e a subdivisão das infraestruturas como "naturais, mistas e cinzas". O trabalho conclui que essa abordagem sugerida pode apoiar os processos de planejamento ambiental e territorial das áreas de mananciais, principalmente quando considerada em uma gestão "de fora para dentro" das cidades, podendo ser adaptada à contextos diversos.

**Palavras-chave:** Mananciais; Água; Abordagem Ecossistêmica; Serviços Ecossistêmicos.

## ABSTRACT

This work originated from the observation of the problem that involves the degradation and loss of peri-urban springs located in the metropolitan region of Curitiba, as well as the findings and recommendations for future work by the master's dissertation that preceded this thesis. In this regard, there is an extensive discussion in the literature about ecosystem services related to water supply, including the adoption of nature-based solutions and techniques for conserving watershed areas (ecosystem approach). However, water resources policies in Brazil and the scientific literature are still poor in presenting in their content an interaction between gray, mixed and natural infrastructure solutions in a complementary way to each other, having as a common denominator the strengthening of ecosystem services. In this way, this thesis proposes a theoretical approach to the interaction between gray, mixed and natural solutions, exemplified in the planning of water sources in peri-urban areas and defends the idea that gray infrastructures can also promote ecosystem services, if planned with the premise of ecosystem approach to environmental balance (interactive ecosystem approach). The methodology of the work involves a process of theoretical construction through similarities between the ecosystem services acquired through nature and the benefits arising from gray and mixed infrastructures, adopting the theoretical method, it is dedicated to advancing the theory and deepening the concepts of "ecosystem approach" and "ecosystem services". As a study area, the Miringuava river basin, located in the municipality of São José dos Pinhais, was adopted. These are concepts created by the theoretical discussion of this work: the "interactive ecosystem approach" and the subdivision of infrastructures as "natural, mixed and gray". The work concludes that this suggested approach can support the processes of environmental and territorial planning of watershed areas, especially when considered in an "outside-in" management of cities, and can be adapted to different contexts.

**Key-words:** Water Sources; Water; Ecosystem Approach; Ecosystem Services.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Lógica dos procedimentos de pesquisa adotados .....	25
Figura 2 - Protocolo da primeira busca da revisão sistemática da literatura aplicado às bases Scopus e Scielo .....	29
Figura 3 - Protocolo da segunda busca da revisão sistemática da literatura aplicado às bases Scopus e Scielo .....	30
Figura 4 – Utilização do conceito “serviços ecossistêmicos” e o crescimento do número de trabalhos publicados no meio científico internacional – base de dados Scopus .....	35
Figura 5 - Utilização do conceito “serviços ecossistêmicos” e o crescimento do número de trabalhos publicados no meio científico latino-americano e África do Sul – base de dados Scielo .....	36
Figura 6 – Relações entre os serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano .....	38
Figura 7 – Interação entre capital natural, construído, social e humano e as interações que permitem que os serviços ecossistêmicos fluam para o bem-estar humano .....	40
Figura 8 – Perguntas para compreensão da relação entre diferentes serviços ecossistêmicos .....	41
Figura 9 – Heterogeneidades do ciclo hidrológico.....	44
Figura 10 – Lógica dos sistemas de PSA.....	48
Figura 11 – Efeitos hidrológicos da urbanização.....	50
Figura 12 - Frentes envolvidas na requalificação de cursos d’água em bacias hidrográficas urbanizadas no âmbito da renaturalização, recuperação e revitalização. ....	62
Figura 13 – Modelo conceitual proposto por Tickner et al. (2017) para pesquisas, políticas e planejamentos de recursos hídricos.....	65
Figura 14 – Exemplo de infraestruturas cinzas, verdes e híbridas aplicadas para proteção de áreas costeiras .....	68
Figura 15 – Modelo conceitual de Vörösmarty et al. (2021) sobre a relação entre ameaças e infraestruturas para a segurança hídrica. ....	71
Figura 16 – Ideia central da abordagem ecossistêmica interativa.....	74
Figura 17 – Princípios da abordagem ecossistêmica interativa.....	77

Figura 18 – Exemplo de coleta de amostras por meio de interpretação das classes de uso do solo.....	83
Figura 19 - Exemplo de resultado da classificação supervisionada das classes de uso e ocupação do solo por meio do software QGis. ....	84
Figura 20 – Exemplo de representação gráfica de potenciais estressores sobre serviços ecossistêmicos hídricos como ferramenta para auxiliar o trabalho de planejamento.....	88
Figura 21 - Localização da bacia hidrográfica do rio Miringuava (polígono vermelho) em relação à cidade de Curitiba e municípios do núcleo urbano central da região metropolitana.....	92
Figura 22 – Área hidrográfica da bacia do rio Miringuava e área de contribuição à captação d’água (manancial hídrico).....	92
Figura 23 - Área do futuro reservatório em relação à área do manancial. ....	96
Figura 24 - Macrozonas conforme Plano Diretor do município de São José dos Pinhais incluídas na bacia hidrográfica do rio Miringuava.....	98
Figura 25 - Composição da imagem de satélite para apoiar o mapeamento de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Miringuava .....	103
Figura 26 - Mapa de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Miringuava. ....	104
Figura 27 – Fotos 1 a 6 obtidas na bacia de manancial do rio Miringuava.....	108
Figura 28 – Fotos 7 a 12 obtidas na bacia de manancial do rio Miringuava.....	109
Figura 29 – Fotos 13 a 16 obtidas na bacia de manancial do rio Miringuava.....	110
Figura 30 - Drenagem de áreas úmidas para cultivo.....	111
Figura 31 - Pastagens em áreas úmidas drenadas e intervenção em APP. ....	112
Figura 32 - Área de intervenção no rio Miringuava para a construção da barragem antes e depois do início das obras.....	112
Figura 33 - Ocupação e drenagem de áreas úmidas próximo ao rio Miringuava e plantios com ausência de consideração das curvas de nível.....	113
Figura 34 – Imagem aérea do local da captação de água para o sistema de tratamento e abastecimento público, áreas úmidas com intervenções para drenagem .....	113
Figura 35 - Imagem sobre parte do bairro Del Rey, em área do manancial Miringuava .....	114
Figura 36 – Cadastros de uso de água na bacia do rio Miringuava .....	115

Figura 37 – Mapa resumo do uso e ocupação do solo na bacia de manancial do rio Miringuava.....	116
Figura 38 – Classificação das principais zonas de uso e cobertura do solo na bacia de manancial do rio Miringuava.....	118
Figura 39 - Mapa resumo da abordagem ecossistêmica interativa no manancial Miringuava.....	129

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Doze princípios da abordagem ecossistêmica conforme CBD (continua) .....	33
Quadro 2 – Serviços ecossistêmicos, suas características e exemplos.....	37
Quadro 3 – Termos correlatos às infraestruturas naturais .....	56
Quadro 4 - Classificação de serviços ecossistêmicos importantes em áreas urbanas, funções e componentes ecossistêmicos subjacentes .....	58
Quadro 5 – Quadro proposto para levantamento das características atuais e futuras para desenvolvimento da abordagem ecossistêmica interativa .....	82
Quadro 6 – Tábua de cálculo para classificação e priorização das propriedades rurais promotoras de serviços ecossistêmicos – Programa PSA Miringuava (continua) .....	100
Quadro 7 – Resumo dos elementos estressores sobre a promoção dos serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade da água na bacia de manancial Miringuava (continua).....	120
Quadro 8 – Atuais promotores de serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade das águas na bacia de manancial do Miringuava .....	123
Quadro 9 – Sugestão de infraestruturas e ações para controle dos elementos estressores sobre a promoção de serviços ecossistêmicos hídricos no manancial Miringuava.....	127
Quadro 10 – Forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para a promoção de serviços ecossistêmicos hídricos no manancial do Miringuava.....	128

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de preservação permanente
BGI	<i>Blue-green infrastructure</i>
CDB	<i>Convention on Biological Diversity</i>
CEPED	Cento Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres
CGRMC	Conselho Gestor dos Mananciais da Região Metropolitana de Curitiba
EST	Elemento estressor
EUA	Estados Unidos da América
FBN	Fixação biológica de nitrogênio
IAT	Instituto Água e Terra
iLPF	Integração lavoura-pecuária-floresta
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Km	Quilômetros
Km <sup>2</sup>	Quilômetros quadrados
m	Metros
MEA	<i>Millennium Ecosystem Assessment</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PACUERA	Plano de uso e conservação das águas e entorno do reservatório para abastecimento público
PPGTU	Programa de Pós-graduação em Gestão Urbana
PSA	Pagamento por serviços ambientais
PSE	Pagamento por serviços ecossistêmicos
PUCPR	Pontifícia Universidade Católica do Paraná
RL	Reserva legal
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
RPPN	Reserva particular do patrimônio natural
SAFs	sistemas agroflorestais
SAIC	Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana
Sanepar	Companhia de Saneamento do Paraná
SBN	Soluções baseadas na natureza
SEMMA/SJP	Secretaria Municipal de Meio Ambiente de São José dos Pinhais
SPD	Sistema de Plantio Direto
SPDH	Sistema de Plantio Direto de Hortaliças
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
SWOT	<i>Strengths, weaknesses, opportunities, threats</i>
TEEB	<i>The Economic of Ecosystem and Biodiversity</i>
UTP	Unidades Territoriais de Planejamento
ZCM	Zona Colônia Murici
ZEE	Zoneamento Ecológico Econômico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>23</b>
2.1	MÉTODOS E PROCEDIMENTOS GERAIS DA PESQUISA.....	23
2.2	COLETA E ANÁLISE DE DADOS E INFORMAÇÕES .....	25
2.2.1	Definição das perguntas de pesquisa.....	26
2.2.2	Metodologia para revisão sistemática da literatura.....	27
<b>3</b>	<b>FUNDAMENTOS TEÓRICOS REFERENCIAIS.....</b>	<b>31</b>
3.1	ABORDAGEM ECOSSISTÊMICA.....	31
3.2	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS HÍDRICOS .....	42
3.2.1	Ciclo hidrológico e serviços ecossistêmicos .....	43
3.2.2	Elementos estressores sobre o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos hídricos.....	49
3.2.3	Infraestruturas aplicadas à promoção de serviços ecossistêmicos em ambiente urbanos e periurbanos.....	54
3.3	INTERAÇÃO ENTRE SOLUÇÕES NATURAIS E CINZAS .....	63
3.3.1	Abordagens presentes na literatura científica.....	64
3.3.2	Panorama geral sobre o assunto.....	72
<b>4</b>	<b>ABORDAGEM ECOSSISTÊMICA INTERATIVA.....</b>	<b>73</b>
4.1	CONSTRUÇÃO DOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA ABORDAGEM ECOSSISTÊMICA INTERATIVA.....	73
4.2	CONSTRUÇÃO DAS ETAPAS PRÁTICAS DA ABORDAGEM ECOSSISTÊMICA INTERATIVA.....	79
4.2.1	Mapeamento do uso do solo e caracterização do manancial .....	82
4.2.1	Definição das relações causais entre uso do solo e promotores de serviços ecossistêmicos hídricos .....	85
4.2.2	Proposição de fortalecimento dos promotores de serviços ecossistêmicos ..	88
<b>5</b>	<b>APLICAÇÃO E DISCUSSÃO DA ABORDAGEM DESENVOLVIDA.....</b>	<b>90</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MIRINGUAVA ..	90

5.1.1	Localização.....	91
5.1.2	Aspectos legais e políticas de gestão.....	93
5.1.3	Uso e cobertura do solo.....	102
5.2	ELEMENTOS ESTRESSORES SOBRE A PROMOÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS .....	117
5.3	SELEÇÃO DOS PROMOTORES DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	122
5.4	PROPOSIÇÃO DE AÇÕES PARA APRIMORAR OS PROMOTORES DE SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS.....	123
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>130</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>137</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Esta tese tem suas raízes nas conclusões e constatações da dissertação de mestrado que a antecedeu (SCHIMALESKI, 2017; SCHIMALESKI, GARCIAS, 2020), debruçando-se nesse momento sobre como os conceitos relacionados à abordagem ecossistêmica podem ser aprimorados para nortear melhorias no planejamento ambiental de um recurso essencial às cidades e metrópoles, mas também vulnerável à degradação: os mananciais hídricos superficiais para abastecimento público. Dentro do contexto da gestão urbana e regional, este trabalho se debruça sobre o planejamento e gestão específicos dessas áreas de mananciais hídricos superficiais, geralmente localizados em regiões periurbanas, sob influência de diversos fatores de degradação.

A gestão ambiental é um dos grandes desafios das políticas e ações do desenvolvimento regional das cidades e metrópoles. Os problemas ambientais das cidades possuem interações constantes com questões socioeconômicas e de desenvolvimento. Inserido nesta temática, a gestão de mananciais hídricos possui uma criticidade particular, uma vez que trabalha com um recurso essencial e primário à vida humana e suas atividades, que é o abastecimento de água, um dos pilares do saneamento básico. No Brasil, os mananciais hídricos de grandes cidades e metrópoles passam recorrentemente por momentos de crise hídrica motivada pelas mudanças climáticas, pela perda de sua qualidade devida à degradação e poluição ambiental, pelo aumento da demanda hídrica e pela falta de capacidade para planejamento e gestão dos sistemas de abastecimento e governança da água (ANA, 2022; SILVA, SAMORA, 2019; RICHTER, JACOBI, 2018; JACOBI, CIBIM, LEÃO, 2015; MOMM et al., 2021; FOGGIATO, 2020; FONTÃO; ZAVATTINI, 2019; NEVES, VILANOVA, 2021; BEZERRA, VIEIRA, RIBEIRO, 2021; MAZZARINO et al., 2019; JACOBI, BUCKERIDGE, RIBEIRO, 2021; SOTERO-MARTINS et al., 2021; MARTIRANI, PERES, 2016; CAVALCANTI, MARQUES, 2016). Segundo e Jimenez-Cisneros (2019), sob uma perspectiva dos esforços da UNESCO, os principais desafios relacionados à água sob o ponto de vista global estão relacionados:

- I. Ao crescimento populacional e sua pressão sobre recursos naturais;
- II. A agricultura, sendo o maior usuário de água (representa 70% do consumo global do recurso) e toda a cadeia de produção de alimentos;

- III. A escassez hídrica, prevista para ser o fator determinante mais importante sobre a escassez de alimentos
- IV. As variações e mudanças climáticas, causando severas alterações nos ciclos hidrológicos.

Ao analisar as principais diretrizes e políticas internacionais e nacionais para a gestão das águas, observa-se uma temática que ganha espaço e vem alterando a maneira de planejamento e gestão dos recursos hídricos: a valorização dos serviços ecossistêmicos como promotores de recursos essenciais ao bem estar humano, incluindo soluções baseadas na natureza, técnicas de conservação, recuperação e restauração das funções ecossistêmicas (ONU, 2018; ONU, 2021; ONU, 2022), para as quais, neste trabalho, optou-se por chamar de “abordagem ecossistêmica”, tal como apresentado por CDB (2004) e por MEA (2005a) , difundindo-se para toda a literatura científica sobre o assunto.

Há um consenso no meio científico sobre a importância da promoção dos serviços ecossistêmicos para o equilíbrio das condições necessárias à vida, ou seja, uma abordagem das relações ecossistêmicas para o planejamento ambiental. Este conceito vem sendo adotado no planejamento ambiental e traz em si a ideia de um valor agregado, o qual beneficia a sociedade, facilitando a compreensão das relações entre sociedade e natureza. Este conceito traz a oportunidade de valoração (econômica ou não) dos bens e serviços ecossistêmicos que a natureza presta ao ser humano, ressaltando por um lado a importância do equilíbrio ambiental e seus serviços para a sustentação da vida no planeta e, por outro lado, a sua utilidade e valor para o ser humano.

A ideia de valor contida nesse conceito possibilitou a criação de instrumentos de gestão ambiental pautadas no princípio provedor-recebedor, tal como o pagamento por serviços ambientais (PSA) ou pagamento por serviços ecossistêmicos (PSE), onde quem é responsável por conservar uma área da natureza que presta serviços ecossistêmicos à sociedade merece ser recompensado pelos benefícios prestados. Deste instrumento de gestão, surgiram diversos exemplos internacionais e nacionais de aplicação para a gestão de mananciais hídricos para abastecimento urbano e regional, buscando aumentar e tornar mais eficaz a promoção de serviços ecossistêmicos essenciais, como a provisão e manutenção da qualidade da água.

A disponibilidade hídrica para abastecimento da população de grandes cidades tem sido um desafio na gestão urbana e regional, realidade observada, por exemplo, na metrópole de São Paulo após passar pela crise hídrica em 2014 (FONTÃO, ZAVATTINI, 2019; MOMM et al., 2021) e de Curitiba a partir de 2020 (FOGGIATO, 2020), demonstrando que o limiar dos sistemas de saneamento já foi atingido nessas regiões e a gestão urbana e regional não tem sido capaz de promover ações preventivas em um cenário de problemas sociais, ambientais e tecnológicos que envolvem o tema (GARCIAS, SANCHES, 2009).

Há diversas faces de vulnerabilidade: as mudanças climáticas globais alteram os ciclos hidrológicos, trazendo eventos extremos de estiagem ou inundações que colocam em risco a integridade da vida humana, principalmente nas cidades, seja pelas perdas humanas e materiais ou pela falta de abastecimento de água; a degradação ambiental também atua como fator agravador dos impactos sobre a integridade dos sistemas hídricos urbanos e regionais, comum em metrópoles como Curitiba, onde podemos observar o descarte ou desconsideração de mananciais hídricos, que antes eram fonte de água ao abastecimento público, devido à degradação de sua qualidade, conforme consta no Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana (SANEPAR, 2013) e na legislação específica sobre os mananciais da região.

Essa problemática foi trabalhada pela autora em sua dissertação de mestrado, intitulada “potencialidade de sistemas de pagamentos por serviços ambientais como instrumento para a gestão de mananciais hídricos urbanos” (SCHIMALESKI, 2017; SCHIMALESKI, GARCIAS, 2020), a qual concluiu que o foco no desenvolvimento de serviços ecossistêmicos, motivados pelo instrumento de pagamento por serviços ambientais, poderia ter evitado a degradação ambiental e a perda de um importante manancial hídrico para a região de Curitiba (rio Palmital). Da mesma maneira essa pesquisa observou uma lacuna sobre o conceito de serviços ecossistêmicos, sendo defendido que o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos garante o equilíbrio ambiental desde que esses serviços sejam todos aqueles voltados à manutenção das condições ecossistêmicas essenciais para a vida, o que pode incluir ações humanas ou infraestruturas cinzas com tal objetivo (exemplo: as estações de tratamento de esgotos, a drenagem sustentável, o tratamento de resíduos sólidos, as obras de engenharia que complementam e auxiliam a evitar a sobrecarga do ambiente natural etc.), surgindo a ideia de “serviços ecossistêmicos antrópicos” ou basicamente as

soluções e serviços ecossistêmicos trazidos por infraestruturas cinzas, mistas (tecnologias com base nas funções da natureza) ou por melhores ações e técnicas de manejo.

Conforme fundamentação teórica deste trabalho, os serviços ecossistêmicos podem ser entendidos como os benefícios que as pessoas obtêm da natureza, direta ou indiretamente, por meio dos ecossistemas, a fim de sustentar a vida no planeta. Os ecossistemas promovem a purificação da água e do ar, amenizam fenômenos climáticos como ciclones, tornados e tufões, protegem contra desastres naturais e realizam a reciclagem de nutrientes, entre tantos outros serviços (MEA, 2005a). Da mesma maneira, defende-se nesta tese que muitas tecnologias e infraestruturas cinzas ou mistas atuam sob o mesmo princípio: o de promover condições essenciais para a sustentação da vida. Geralmente os serviços advindos dessas infraestruturas “imitam” os serviços prestados naturalmente pelos ecossistemas, podendo ocorrer em um prazo de tempo menor e com maior efetividade a fim de atender o equilíbrio necessário frente a grande pressão humana sobre o meio ambiente, quando as infraestruturas naturais (capital natural) não suportam a carga de manutenção. Dessa maneira, levanta-se a hipótese de que as infraestruturas cinzas e mistas, além de ações e melhores técnicas de manejo do solo, também podem ser promotores de serviços ecossistêmicos e devem ser consideradas na abordagem ecossistêmica para a gestão ambiental urbana ou regional.

A literatura científica apresenta um crescente número de publicações sobre as abordagens ecossistêmicas, mas observa-se uma falta de abordagens que considerem soluções com a integração entre o cinza e o natural. Geralmente as infraestruturas naturais e mistas (aquelas baseadas na natureza) são exploradas como soluções para substituir as infraestruturas cinzas e convencionais presentes na engenharia como maneira a aprimorar a qualidade ambiental e reduzir custos à sociedade. Esta tese se fundamenta, então, em explorar essa lacuna sobre a falta de integração entre infraestruturas cinzas, mistas e naturais (azul-verdes) a partir de um denominador comum: como promotoras de serviços ecossistêmicos essenciais para o equilíbrio ambiental, tendo como foco de estudo o controle ambiental de mananciais hídricos urbanos. Para essa abordagem optou-se por nomear como “abordagem ecossistêmica interativa”, remetendo a interação entre infraestruturas cinzas, mistas e naturais e melhores ações no planejamento de mananciais hídricos.

Essa tese tem, portanto, o **objetivo geral** de fundamentar a abordagem ecossistêmica interativa visando sua aplicação ao planejamento de mananciais hídricos urbanos.

Para isso foram definidos os seguintes **objetivos específicos**:

- a) estudar os conceitos correlatos à abordagem ecossistêmica e infraestruturas para gestão das águas;
- b) conceituar os diferentes tipos de infraestruturas para o planejamento de mananciais hídricos urbanos;
- c) aplicar a abordagem desenvolvida na área de estudo escolhida: bacia hidrográfica do rio Miringuava;
- d) discutir a aplicabilidade da abordagem desenvolvida sob o ponto de vista de sua contribuição à gestão territorial e das águas.

Para a fundamentação dessa abordagem, foi realizada uma pesquisa teórica exploratória sobre os conceitos de serviços ecossistêmicos e abordagem ecossistêmica aplicados ao planejamento de mananciais hídricos e por meio de similitudes entre os benefícios promovidos pelas infraestruturas cinzas, mistas e naturais, foi fundamentada teoricamente a abordagem ecossistêmica interativa. Para análise dessa abordagem, propõe-se um quadro teórico aplicável em mananciais hídricos urbanos que tem como base o mapeamento de uso do solo, a identificação dos usuários de serviços ecossistêmicos relacionados aos recursos hídricos e as principais políticas de uso do solo e meio ambiente vigentes para pautar diretrizes e estratégias fundamentadas na abordagem ecossistêmica interativa. A proposta foi aplicada à uma área de manancial da região metropolitana de Curitiba, denominada como bacia hidrográfica do rio Miringuava.

O fator primordial que motivou essa pesquisa foi a necessidade de abordagens ecossistêmicas adaptadas aos objetivos do planejamento e gestão para o controle de mananciais, de maneira compreensiva e didática para viabilizar a inserção da temática nos planos diversos que podem envolver os recursos hídricos de mananciais. A partir da pesquisa teórica desenvolvida por esse trabalho, busca-se fundamentar a abordagem ecossistêmica interativa como uma contribuição ao aprimoramento da teoria de abordagens ecossistêmicas tradicional discutida na literatura, tendo um enfoque sobre os ambientes de mananciais hídricos. Os resultados da abordagem proposta não possuem o intento de esgotar o assunto ou descaracterizar o conceito

tal como discutido na literatura, mas sim lançar um novo olhar que pode trazer contribuições teóricas aos esforços despendidos pelos planejadores territoriais e de recursos hídricos que desejam adotar a abordagem ecossistêmica. Igualmente, espera-se que essa abordagem possa melhor orientar os esforços em planejamento de áreas geralmente muito vulneráveis, como são os mananciais hídricos das grandes cidades, localizados em sua maioria em regiões periurbanas, com diversos fatores de pressões ambientais que corroboram para a sua degradação e perda contínua.

Portanto, a originalidade desta proposta de tese está em propor uma nova visão para a abordagem ecossistêmica, denominada como interativa, a partir de uma releitura das principais referências sobre o assunto, buscando desenvolver a temática no que se refere ao planejamento de mananciais hídricos urbanos (estudo aplicado). Nesta interpretação, realinhar a visão das inter-relações entre os componentes naturais e antrópicos da cidade, considerando que as soluções em infraestruturas cinzas e mistas também podem prestar serviços ecossistêmicos (denominados serviços ecoantrópicos). Integrando os serviços ecossistêmicos (naturais e antrópicos) no planejamento dos mananciais hídricos urbanos busca-se a otimização dos esforços e dos fazeres neste campo, tomando como base a busca pela manutenção do equilíbrio ecossistêmico (que pode ser promovida pela natureza em conjunto com a tecnologia e ações humanas).

## 2 METODOLOGIA

Essa pesquisa tem como fundamento inicial as conclusões e proposições de trabalhos futuros da dissertação de mestrado que antecedeu a formulação desta tese, onde foi deixado o questionamento sobre uma lacuna: o que são os serviços ecossistêmicos (ou serviços ambientais)? Conforme a literatura científica e conceituação tradicional, os serviços ecossistêmicos são os benefícios que o ser humano obtém da natureza direta ou indiretamente (MEA, 2005, COSTANZA, 1997, 2007). Da mesma maneira as tecnologias e infraestruturas desenvolvidas pelo ser humano, tais como as mistas e cinzas, atuam sobre o mesmo princípio: o de promover condições essenciais para a sustentação da vida (SCHIMALESKI, 2017, p. 116 – 121; SCHIMALESKI, GARCIAS, 2020). Mesmo prestando serviços ecossistêmicos, as infraestruturas cinzas não são consideradas na abordagem ecossistêmica. É sobre esta lacuna que esta pesquisa busca aprofundar os conceitos teóricos de serviços ecossistêmicos e abordagem ecossistêmica, com um foco sobre os mananciais hídricos urbanos. Dessa maneira, sob a luz desse fundamento inicial que norteou os esforços da tese, este capítulo traz a caracterização dos métodos e técnicas da pesquisa, os procedimentos utilizados, incluindo a coleta e análise de dados e informações.

### 2.1 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS GERAIS DA PESQUISA

Sob a luz de conceitos sobre tipos de métodos de pesquisa conforme Gil (2008), Santos (2015) e Marconi e Lakatos (2022), essa pesquisa foi classificada sob diferentes perspectivas. Trata-se de uma pesquisa de natureza teórica (pura), pois dedica-se a avançar a teoria e aprofundar os conceitos de abordagem ecossistêmica e serviços ecossistêmicos. Quanto à epistemologia, ou seja, a maneira como o fenômeno será compreendido, essa pesquisa possui a característica positivista. Em relação à análise de dados, essa pesquisa é exploratória, buscando proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o mais explícito. Quanto aos procedimentos, é uma pesquisa bibliográfica, baseada em artigos e trabalhos relevantes publicados sobre o assunto nas principais bases de dados científicos, ou seja, busca reunir os principais conceitos e conhecimento já existente sobre o assunto

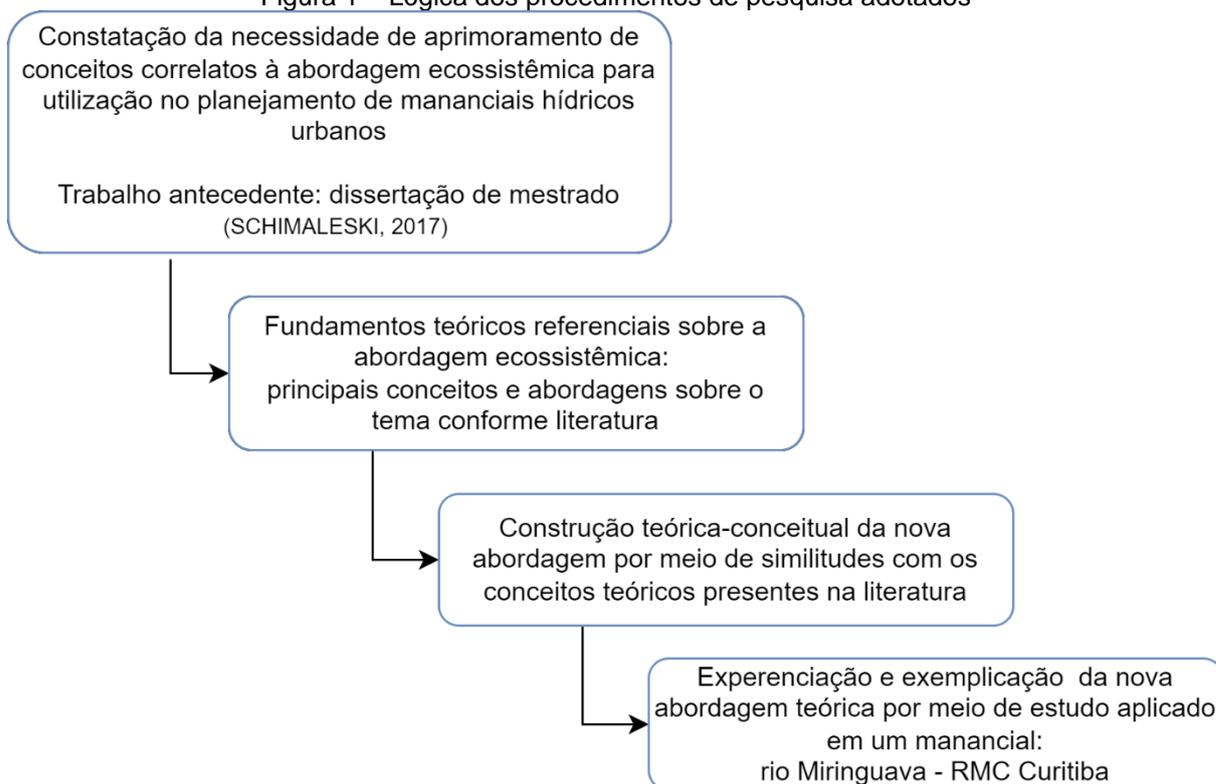
no meio científico como uma base conceitual para apoiar a construção da própria abordagem.

Sendo uma pesquisa exploratória e bibliográfica, busca desenvolver ainda mais o conceito de serviços ecossistêmicos e abordagem ecossistêmica, observando sua integração no planejamento dos recursos hídricos. Os resultados dessa pesquisa exploratória dão base para a conceituação do termo “abordagem ecossistêmica interativa” por meio de similitudes com os conceitos tradicionais observados na literatura científica. Posteriormente, fundamenta-se as etapas práticas (*framework*) da abordagem ecossistêmica interativa aplicada ao planejamento de mananciais hídricos. Este *framework* caracteriza-se como um quadro teórico desenvolvido para ser utilizado como instrumento no apoio ao planejamento dos recursos hídricos e busca exemplificar o conceito teórico defendido pela tese. O foco central do trabalho não está na elaboração do *framework* em si, mas sim experimentar e demonstrar a aplicabilidade dos conceitos teóricos desenvolvidos de maneira indutiva a partir da problematização e investigação bibliográfica.

Objetivando que a abordagem teórica seja exemplificada em um determinado contexto, foi realizado um estudo aplicado na bacia hidrográfica do rio Miringuava, localizada no município de São José dos Pinhais, no estado brasileiro do Paraná, sendo um dos mananciais hídricos para abastecimento público de parte da região metropolitana de Curitiba (RMC) bem como de interesse para atividades industriais e agropecuárias locais. O objetivo desse estudo aplicado é desenvolver a abordagem ecossistêmica interativa para o planejamento de mananciais hídricos, bem como trazer subsídios para aprimoramento das ideias construídas nesta tese.

Dessa maneira, esta pesquisa caracteriza-se por adotar métodos qualitativos em seu desenvolvimento, sob a perspectiva do raciocínio indutivo (GIL, 2008). Ou seja, a partir do conhecimento de conceitos sobre abordagens ecossistêmicas, com foco no conceito de serviços ecossistêmicos, tal como apresentado pelo arcabouço teórico e científico mundial sobre a temática, foi fundamentada uma nova e própria abordagem teórica com o objetivo de ser utilizada no planejamento de recursos hídricos. Por meio de processos de similitudes, tendo como base os benefícios promovidos pela natureza (serviços ecossistêmicos tal como observado convencionalmente na literatura científica), foi fundamentada a nova abordagem e denominada como “abordagem ecossistêmica interativa”. A Figura 1 apresenta a lógica dos procedimentos gerais adotados na pesquisa.

Figura 1 – Lógica dos procedimentos de pesquisa adotados



Fonte: Elaboração própria.

## 2.2 COLETA E ANÁLISE DE DADOS E INFORMAÇÕES

A coleta de dados é a etapa que fundamenta a produção do conhecimento, ou seja, o “texto pensado” (Santos, 2015). Neste trabalho, por sua natureza teórica, a coleta de dados e informações foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica nas principais bases indexadoras científicas: Scopus (em nível global) e Scielo (em nível de América Latina).

Primeiramente foi delineada uma revisão sistemática da literatura para as temáticas de “serviços ecossistêmicos e planejamento de recursos hídricos” e “infraestruturas cinzas e naturais”. O termo “serviços ecossistêmicos” foi escolhido por representar a abordagem ecossistêmica tal como estruturada na seção 3.1. Essas duas revisões sistemáticas trouxeram um delineamento de como a abordagem ecossistêmica é aplicada no planejamento de recursos hídricos e como que infraestruturas naturais e cinzas são tratadas em conjunto como promotoras de benefícios ecossistêmicos e sociais, ou seja, dão um panorama do estado da arte sobre o assunto. A fundamentação teórica de outros conceitos importantes nesse

trabalho foi complementada por levantamentos também realizados nas duas bases indexadoras citadas (Scopus e Scielo), sendo realizadas buscas avulsas para os termos de interesse, sendo priorizada a seleção dos artigos classificados entre os trinta mais citados. Exemplo de conceitos que foram fundamentados conforme esse método de busca bibliográfica: soluções baseadas na natureza, infraestrutura azul-verde; agricultura e serviços ecossistêmicos, entre outros. Por fim, considerou-se também em complemento uma revisão narrativa da literatura, ou seja, pela seleção arbitrária de algumas referências que não estão indexadas necessariamente nas bases científicas utilizadas, mas que são citadas e utilizadas como fonte conceitual básica no meio científico, tais como as publicações do *Convention on Biological Diversity* (CBD, 2000, 2004); *Millenium Ecosystem Assesment* (MEA, 2003; MEA, 2005); *The Economic of Ecosystem and Biodiversity* (TEEB, 2012); os relatórios das Nações Unidas para o desenvolvimento global da água (UN, 2018, 2020, 2022). Além disso foram levantadas legislações brasileiras, trabalhos locais sobre o assunto e teses de conhecimento da autora que, a julgamento próprio, trouxeram delineamento de conceitos agregadores à abordagem desenvolvida.

### **2.2.1 Definição das perguntas de pesquisa**

Como maneira de otimizar o levantamento de referências e a análise dos dados e informações para a fundamentação teórica, visando posteriormente o embasamento para a construção da fundamentação da abordagem ecossistêmica interativa, foram elaboradas oito perguntas que auxiliaram a guiar a estruturação da pesquisa:

- Pergunta 1: quais são as principais políticas e diretrizes sobre a gestão de recursos hídricos no Brasil e na área de estudo deste trabalho?
- Pergunta 2: quais são as relações entre o ciclo hidrológico e a segurança hídrica nas cidades e regiões periurbanas?
- Pergunta 3: quais são as interfaces entre a gestão de recursos hídricos e o planejamento territorial?
- Pergunta 4: qual foi a origem da abordagem ecossistêmica e do conceito serviços ecossistêmicos?
- Pergunta 5: quais serviços ecossistêmicos estão relacionados à qualidade e disponibilidade hídrica de mananciais de água?

- Pergunta 6: quais interferências humanas alteram a provisão de serviços ecossistêmicos naturais em mananciais de água?
- Pergunta 7: quais infraestruturas naturais ou mistas são utilizadas para gestão das águas sob ponto de vista da abordagem ecossistêmica?
- Pergunta 8: Quais infraestruturas cinzas ou convencionais são utilizadas para a gestão das águas?
- Pergunta 9: Porque as soluções naturais, mistas e cinzas não são trabalhadas em conjunto para o planejamento de mananciais hídricos sob a ótica da abordagem ecossistêmica?

### **2.2.2 Metodologia para revisão sistemática da literatura**

Conforme mencionado no prólogo da seção 2.2, parte da revisão de literatura foi realizada de maneira sistemática, buscando seguir uma abordagem metodológica para compreensão de como a temática deste trabalho vem sendo discutida no meio científico. Nesta tese, a revisão sistemática traz o suporte conceitual sobre serviços ecossistêmicos aplicados ao planejamento e gestão de recursos hídricos, bem como a integração de soluções tecnológicas (infraestrutura cinza) e mistas (infraestrutura verde-azul e soluções baseadas na natureza) ao desenvolvimento de tais serviços.

O conceito de serviço ecossistêmico é amplamente discutido da literatura desde o início dos anos 1990, com expressivo crescimento de trabalhos científicos a partir dos anos 2000, conforme simples busca feita pelo termo na base Scopus e atualizada na data de 19 de julho de 2022. Comumente na literatura este termo está relacionado à biodiversidade, mudanças climáticas e medidas de conservação ambiental. Desta maneira, a maior parte dos estudos faz correlações entre infraestruturas naturais (capital natural) como promotoras de serviços ecossistêmicos. Entretanto, nesta tese parte-se do pressuposto que ações de infraestrutura cinza e mistas também podem ser planejadas e avaliadas a partir do ponto de vista da abordagem ecossistêmica como promotoras de serviços ecossistêmicos.

A partir disso a revisão sistemática desenhada para este estudo busca observar na literatura científica os principais esforços integrativos entre soluções naturais e antrópicas para a promoção de serviços ecossistêmicos e se há trabalhos publicados nesse sentido ou que se aproximam à ideia desta tese. A revisão sistemática buscou

preencher essa lacuna respondendo às principais perguntas (específicas à análise do estado da arte):

- a) Como o conceito de serviços ecossistêmicos é utilizado para o planejamento e gestão de recursos hídricos urbanos;
- b) Como as infraestruturas cinzas (antrópicas/tecnológicas) e mistas (verde-azul e soluções baseadas na natureza) são apresentadas pela literatura científica em relação à promoção de serviços ecossistêmicos.

A revisão sistemática da literatura foi desenvolvida, primeiramente, por meio da busca de documentos publicados nas bases indexadoras dos periódicos Scopus e Scielo. A base Scopus é a mais ampla em respeito às referências bibliográficas com resumos e citações de literatura científica revisada (RIBEIRO, 2017), sendo considerada o principal banco de dados do mundo, contendo resumos e citações; suas publicações são revisadas por pares, facilitando a implementação de dados biométricos confiáveis (MORIOKA; CARVALHO, 2016; NOBRE; TAVARES, 2017). Já a base Scielo representa literaturas da América Latina que não estão agregadas nas bases internacionais, como Scopus ou Web of Science.

As buscas foram realizadas a partir dos seguintes termos e equações de busca (*strings*):

- **Busca 1:** “ecosystem service\*” AND (“water\* plan\*” OR “water\* manage\*”) AND “urban\*”
- **Busca 2:** (“green” OR “blue-green” OR “blue” OR “nature-based solution\*” OR “natural”) AND “gray” AND “infrastructure” AND “ecosystem service\*”

As primeiras buscas para as *strings* citadas haviam sido feitas em setembro de 2021 mas, após a observação de publicações recentes envolvendo o assunto principalmente em relação a segunda busca, o levantamento foi atualizado na data de 16 de maio de 2022. As figuras a seguir apresentam os protocolos de revisão sistemática para cada uma das buscas (Figura 2 e Figura 3).

Figura 2 - Protocolo da primeira busca da revisão sistemática da literatura aplicado às bases Scopus e Scielo

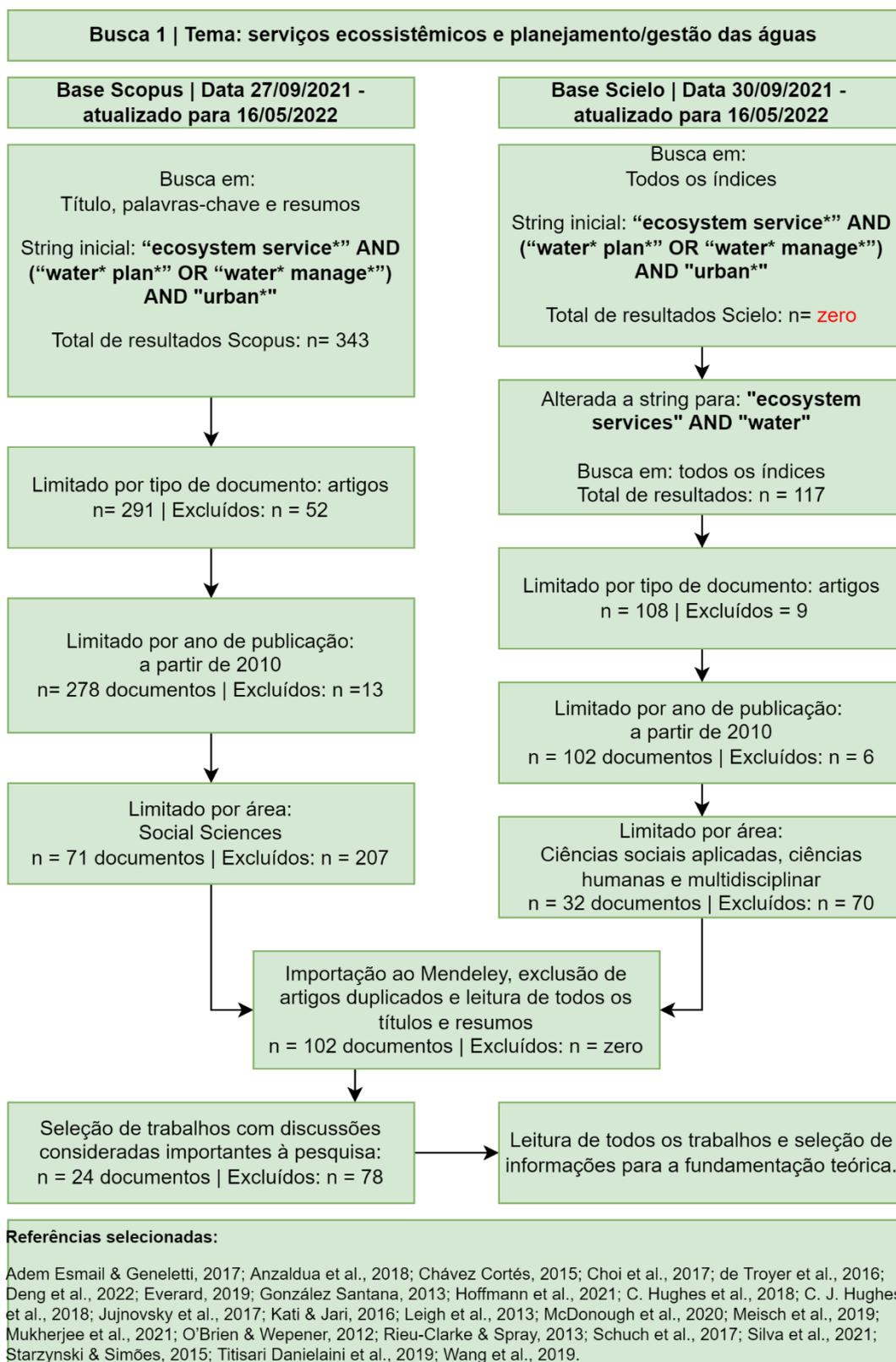
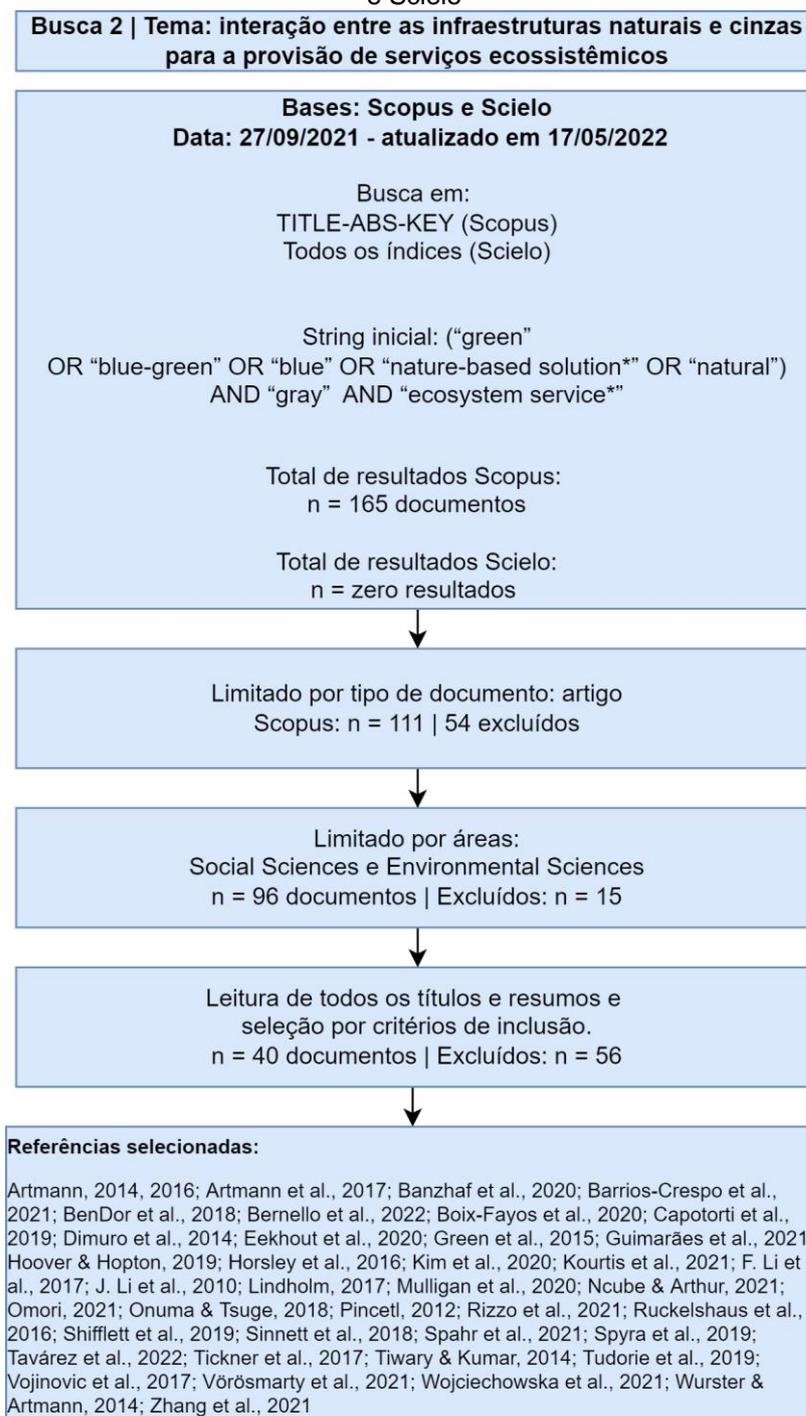


Figura 3 - Protocolo da segunda busca da revisão sistemática da literatura aplicado às bases Scopus e Scielo



### 3 FUNDAMENTOS TEÓRICOS REFERENCIAIS

Os conceitos, definições e demais informações teóricas apresentadas neste capítulo perpassam pelos temas principais da pesquisa: a abordagem ecossistêmica com foco no desenvolvimento de serviços ecossistêmicos e o planejamento dos recursos hídricos urbanos. Resumidamente, apresenta-se os serviços ecossistêmicos como um conceito a ser aplicado no planejamento e gestão de recursos hídricos, levando o foco ao planejamento específico de mananciais hídricos urbanos. Também foi observado como conceitos correlatos às infraestruturas naturais e cinzas são trabalhadas em conjunto como instrumentos do planejamento e gestão de recursos hídricos.

Para a fundamentação teórica, a seleção de referências foi realizada por meio de revisões comuns para fundamentação de conceitos importantes para o trabalho e pela revisão sistemática para observação de como os temas desse trabalho vem sendo tratados na literatura científica, com observação das lacunas científicas. Desta maneira a revisão sistemática considerou duas pesquisas: (I) a relação entre os termos “serviços ecossistêmicos” e o “planejamento ou gestão de recursos hídricos” e (II) a existência de trabalhos que abordem soluções naturais ou baseadas na natureza em conjunto com as infraestruturas cinzas. As informações coletadas e sintetizadas nesta etapa do trabalho dão base para a fundamentação da “Abordagem Ecossistêmica Interativa” proposta por essa tese. Mais detalhes sobre a metodologia de pesquisa empregada na fundamentação teórica estão descritos no capítulo 2.

#### 3.1 ABORDAGEM ECOSSISTÊMICA

A palavra “ecossistema”, originalmente do campo da ecologia, designa o sistema formado por um meio natural e pela comunidade de organismos animais e vegetais, bem como as inter-relações entre ambos (MICHAELIS, 2022). Sobre a interpretação do equilíbrio do ecossistema, considerando o ser humano e suas atividades como parte desse sistema, reside os esforços da engenharia ambiental e do planejamento e gestão dos recursos essenciais para a manutenção da vida no planeta. É por meio desse entendimento que o ser humano precisa ser considerado como parte do ecossistema e não como um campo separado da ecologia. O histórico de pressões e degradações ambientais e seus efeitos adversos sobre o

desenvolvimento da sociedade ressaltam a necessidade de adoção e aprofundamento sobre a abordagem ecossistêmica em todos os campos de planejamento e gestão do desenvolvimento, incluindo a gestão ambiental das cidades, metrópoles e regiões (CBD, 2000; CBD, 2004).

De acordo com *Convention on Biological Diversity - CBD* (CBD, 2000; CBD, 2004), que é um tratado internacional multilateral que aborda a proteção e o uso da diversidade biológica em cada país signatário, a abordagem ecossistêmica (*ecosystem approach*) é uma estratégia de gestão integrada do solo, água e recursos vivos que promove a conservação e o uso sustentável de uma maneira equitativa. Essa abordagem baseia-se na aplicação de metodologias científicas focadas em níveis de organização biológica que abrangem processos, funções e interações essenciais entre os organismos e seus ambientes, reconhecendo que os humanos, com sua diversidade cultural, são um componente integral dos ecossistemas. Essa convenção trazia o foco sobre o valor dos recursos genéticos, e entendia que a abordagem ecossistêmica poderia trazer um equilíbrio entre três objetivos principais: conservação, uso sustentável e repartição justa e equitativa dos benefícios decorrentes da utilização dos recursos genéticos.

A abordagem ecossistêmica requer a capacidade de uma gestão adaptativa frente a necessidade de se trabalhar com a natureza complexa e dinâmica dos ecossistemas e suas interações. Ela deve buscar integrar diversas outras abordagens de gestão e conservação já existentes e realizadas sob a política nacional ou local e não possui uma única maneira de ser implementada, pois depende de condições e especificidades de cada região (CBD, 2000; CBD, 2004). O Quadro 1 apresenta os doze princípios da abordagem ecossistêmica (CBD, 2004), dos quais pode-se destacar a valorização dos benefícios tangíveis e intangíveis dos ecossistemas para o ser humano; a responsabilidade sobre o uso e gestão local dos ecossistemas; a promoção de incentivos onde aqueles que controlam o recurso promovendo serviços ecossistêmicos possam ser reconhecidos e beneficiados e aqueles que geram custos ambientais paguem pelas externalidades negativas; a prioridade para a conservação e restauração de ecossistemas; a consideração sobre um longo prazo de tempo na gestão, evitando a tendência humana de favorecer ganhos de curto prazo e benefícios imediatos sobre os futuros; e a adaptabilidade frente às mudanças inevitáveis sob a perspectiva local e regional, tais como as climáticas. Segundo MEA (2005a), a abordagem ecossistêmica é uma ponte entre o meio ambiente e o bem-estar humano.

Quadro 1 – Doze princípios da abordagem ecossistêmica conforme CBD (continua)

<b>Princípio</b>	<b>Base lógica</b>
1. Os objetivos da gestão da terra, da água e dos recursos vivos são uma questão de escolha da sociedade.	Diferentes setores da sociedade veem os ecossistemas em termos de suas próprias necessidades econômicas, culturais e sociais. Tanto a diversidade cultural quanto a biológica são componentes centrais da abordagem ecossistêmica, e o manejo deve levar isso em consideração. As escolhas sociais devem ser expressas da forma mais clara possível. Os ecossistemas devem ser geridos pelos seus valores intrínsecos e pelos benefícios tangíveis ou intangíveis para os seres humanos, de forma justa e equitativa.
2. A gestão deve ser descentralizada para o nível mais baixo apropriado	Os sistemas descentralizados podem levar a uma maior eficiência, eficácia e equidade. A gestão deve envolver todas as partes interessadas e equilibrar os interesses locais com o interesse público mais amplo. Quanto mais próximo o manejo estiver do ecossistema, maior será a responsabilidade, propriedade, prestação de contas, participação e uso do conhecimento local.
3. Os gestores de ecossistemas devem considerar os efeitos (reais ou potenciais) de suas atividades nos ecossistemas adjacentes e outros.	As intervenções de manejo em ecossistemas geralmente têm efeitos desconhecidos ou imprevisíveis em outros ecossistemas; portanto, possíveis impactos precisam de cuidadosa consideração e análise. Isso pode exigir um novo arranjo.
4. Reconhecendo os ganhos potenciais da gestão, geralmente há a necessidade de entender e gerenciar o ecossistema em um contexto econômico.	Qualquer programa de gestão de ecossistemas deve: (a) Reduzir as distorções de mercado que afetam negativamente a diversidade biológica; (b) Alinhar incentivos para promover a conservação da biodiversidade e o uso sustentável; (c) Internalizar custos e benefícios em determinado ecossistema na medida do possível. A maior ameaça à diversidade biológica está na sua substituição por sistemas alternativos de uso da terra. Isso muitas vezes surge através de distorções de mercado, que desvalorizam os sistemas naturais e populações e fornecem incentivos e subsídios perversos para favorecer a conversão de terras para sistemas menos diversos. Muitas vezes, aqueles que se beneficiam da conservação não pagam os custos associados à conservação e, da mesma forma, aqueles que geram custos ambientais (por exemplo, poluição) escapam da responsabilidade. O alinhamento de incentivos permite que aqueles que controlam o recurso se beneficiem e garante que aqueles que geram custos ambientais paguem.
5. A conservação da estrutura e funcionamento do ecossistema, a fim de manter os serviços ecossistêmicos, deve ser um alvo prioritário da abordagem	O funcionamento e a resiliência do ecossistema dependem de uma relação dinâmica dentro das espécies, entre as espécies e entre as espécies e seu ambiente abiótico, bem como as interações físicas e químicas dentro do ambiente. A conservação e, quando apropriado, a restauração dessas interações e processos é de maior importância para a manutenção a longo prazo da diversidade biológica do que simplesmente a proteção das espécies.
6. Os ecossistemas devem ser geridos dentro dos limites do seu funcionamento.	Ao considerar a probabilidade ou facilidade de atingir os objetivos de manejo, deve-se dar atenção às condições ambientais que limitam a produtividade natural, estrutura do ecossistema, funcionamento e diversidade. Os limites do funcionamento do ecossistema podem ser afetados em diferentes graus por condições temporárias, imprevisíveis ou mantidas artificialmente e, portanto, o manejo deve ser adequadamente cauteloso.
7. A abordagem ecossistêmica deve ser realizada em escalas espaciais e temporais apropriadas.	A abordagem deve ser delimitada por escalas espaciais e temporais adequadas aos objetivos. Os limites da gestão serão definidos operacionalmente pelos usuários, gestores, cientistas e povos locais. A conectividade entre as áreas deve ser promovida sempre que necessário. A abordagem ecossistêmica baseia-se na natureza hierárquica da diversidade biológica caracterizada pela interação e integração de genes, espécies e ecossistemas.

Quadro 1 – Doze princípios da abordagem ecossistêmica conforme CBD (continuação)

8. Reconhecendo as escalas temporais variáveis e os efeitos de atraso que caracterizam os processos ecossistêmicos, os objetivos para a gestão ecossistêmica devem ser estabelecidos para o longo prazo.	Os processos ecossistêmicos são caracterizados por escalas temporais variadas e efeitos de atraso. Isso entra em conflito inerente com a tendência dos humanos de favorecer ganhos de curto prazo e benefícios imediatos sobre os futuros.
9. A gestão deve reconhecer que a mudança é inevitável.	Os ecossistemas mudam, incluindo a composição de espécies e a abundância populacional. Assim, a gestão deve se adaptar às mudanças. Além de sua dinâmica inerente de mudança, os ecossistemas são assolados por um complexo de incertezas e potenciais "surpresas" nos domínios humano, biológico e ambiental. Os regimes de perturbação tradicionais podem ser importantes para a estrutura e funcionamento do ecossistema e podem precisar ser mantidos ou restaurados. A abordagem ecossistêmica deve utilizar o manejo adaptativo para antecipar e atender a tais mudanças e eventos e deve ser cauteloso ao tomar qualquer decisão que possa excluir opções, mas, ao mesmo tempo, considerar ações de mitigação para lidar com mudanças de longo prazo, como das Alterações Climáticas.
10. A abordagem ecossistêmica deve buscar o equilíbrio apropriado e a integração da conservação e uso da diversidade biológica.	A diversidade biológica é fundamental tanto por seu valor intrínseco quanto por causa do papel fundamental que desempenha no fornecimento do ecossistema e de outros serviços dos quais todos dependemos. Houve uma tendência no passado de gerenciar componentes da diversidade biológica como protegidos ou não protegidos. Há uma necessidade de uma mudança para situações mais flexíveis, onde a conservação e o uso sejam vistos em contexto e toda a gama de medidas seja aplicada em um continuum, desde ecossistemas estritamente protegidos até ecossistemas criados pelo homem.
11. A abordagem ecossistêmica deve considerar todas as formas de informação relevante, incluindo conhecimento científico, indígena e local, inovações e práticas.	Informações de todas as fontes são críticas para se chegar a estratégias eficazes de gestão de ecossistemas. É desejável um conhecimento muito melhor das funções do ecossistema e do impacto do uso humano. Todas as informações relevantes de qualquer área em questão devem ser compartilhadas com todas as partes interessadas e atores, levando em consideração, inter alia, qualquer decisão a ser tomada de acordo com o Artigo 8(j) da Convenção sobre Diversidade Biológica. As hipóteses por trás das decisões de gestão propostas devem ser explicitadas e verificadas em relação ao conhecimento disponível e às opiniões das partes interessadas.
12. A abordagem ecossistêmica deve envolver todos os setores relevantes da sociedade e disciplinas científicas.	A maioria dos problemas de gestão da diversidade biológica são complexos, com muitas interações, efeitos colaterais e implicações, e, portanto, devem envolver a expertise e as partes interessadas necessárias em nível local, nacional, regional e internacional, conforme apropriado.

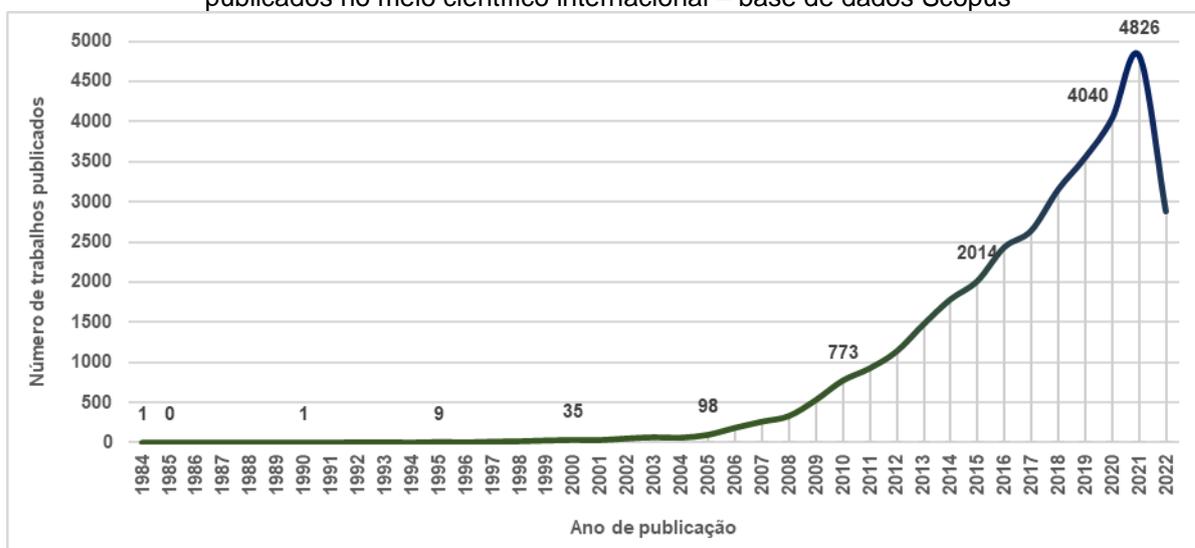
Fonte: adaptado de CDB (2004).

O início da década de 2000 marcou as primeiras discussões significativas sobre o tema da abordagem ecossistêmica. Se em 2000 apresentava-se o termo “abordagem ecossistêmica” na quinta reunião da Conferência entre as Partes para a Convenção sobre a Diversidade Biológica (CDB, 2000), em 2004 o termo foi novamente discutido considerando relevantes aplicações da abordagem desde então,

incluindo os esforços científicos teóricos da organização de pesquisadores denominada *Millenium Ecosystem Assessment (MEA)*, responsável pela elaboração e publicação do modelo conceitual que guiou o desenvolvimento da abordagem (CDB, 2004), ainda presente como referência teórica essencial sobre o assunto.

A partir das publicações de MEA, a abordagem ecossistêmica passou a ser discutida e trabalhada sob a luz de um conceito: os serviços ecossistêmicos. Em uma rápida pesquisa na base de dados científicos Scopus (atualizada para julho de 2022), observa-se o uso do conceito “*ecosystem service\**” desde a década de 1980, mas foi a partir de 2004, provavelmente motivado pelas publicações de CDB e MEA, que o meio científico passa a se apropriar do termo e suas definições nos campos de gestão ambiental e desenvolvimento sustentável, havendo um significativo aumento do número de publicações (Figuras 4 e 5). O número de publicações sobre a temática também cresceu na América latina e África do Sul, embora acompanhada de uma defasagem de aproximadamente 10 anos em relação ao meio científico internacional.

Figura 4 – Utilização do conceito “serviços ecossistêmicos” e o crescimento do número de trabalhos publicados no meio científico internacional – base de dados Scopus



Fonte: elaborado a partir de métricas da base Scopus, busca pelo termo “*ecosystem service\**”, atualizado em 19 de julho de 2022.

Figura 5 - Utilização do conceito “serviços ecossistêmicos” e o crescimento do número de trabalhos publicados no meio científico latino-americano e África do Sul – base de dados Scielo



Fonte: elaborado a partir de métricas da base Scielo, busca pelo termo “ecosystem services”, atualizado em 19 de julho de 2022.

Os bens e serviços ecossistêmicos são os benefícios que as pessoas obtêm dos ecossistemas, necessários ao bem-estar humano (COSTANZA et al, 1997; MEA, 2005a). Esses serviços (entendidos como bens e serviços) podem ser de provisão como alimentos, água e recursos ambientais; de regulação, como o controle de enchentes e doenças; culturais, como benefícios recreativos e culturais; e de suporte, como a ciclagem de nutrientes que é necessária para a manutenção das condições de vida no planeta (Quadro 2). Mudanças e impactos sobre a biodiversidade podem afetar a promoção desses serviços ecossistêmicos (MEA, 2005a); logo observa-se que toda a base da sociedade e da vida é dependente de serviços ecossistêmicos, desde a provisão de bens básicos como a água e alimentos, como a promoção de ambientes saudáveis para a vivência humana. Os serviços ecossistêmicos podem ser entendidos também como o fluxo de materiais, energia e informações dos estoques de capital natural que se combinam com os serviços manufaturados e de capital humano para produção do bem-estar (COSTANZA et al, 1997).

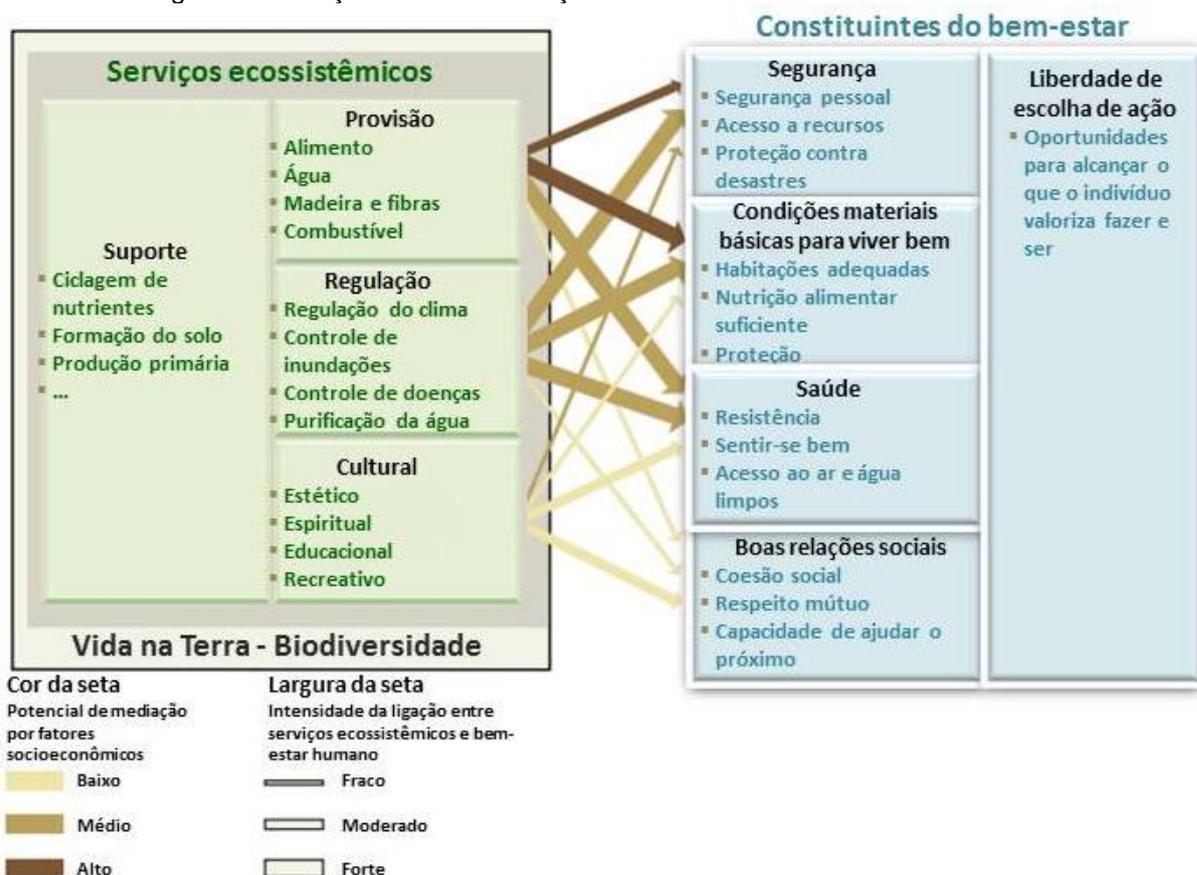
Quadro 2 – Serviços ecossistêmicos, suas características e exemplos

<b>Serviço</b>	<b>Características</b>	<b>Exemplos</b>
Provisão	Capacidade dos ecossistemas em prover bens que são oferecidos diretamente à sociedade.	Alimentos (frutas, raízes, pescado, mel), matéria prima para geração de energia (lenha, carvão, óleos), fibras (madeiras, cordas, têxteis), fitofármacos, recursos genéticos e bioquímicos, plantas ornamentais e água.
Regulação	Obtidos a partir de processos naturais que regulam as condições ambientais responsáveis pela sustentação da vida.	Purificação do ar, regulação do clima, purificação e regulação dos ciclos hídricos, controle de enchentes e erosão, tratamento de resíduos, desintoxicação e controle de pragas e doenças.
Culturais	Relacionados à importância dos ecossistemas em oferecer benefícios recreacionais, educacionais, estéticos, espirituais, ou seja, benefícios não materiais.	Natação em um lago, pesca em um rio, apreciação de uma bela paisagem promovendo o enriquecimento espiritual e cultural, o desenvolvimento cognitivo, educação ambiental, lazer e recreação.
Suporte	Processos naturais necessários para que outros serviços existam e que estão na base do crescimento e da produção. Os benefícios geralmente ocorrem de maneira indireta e se manifestam em longo prazo.	Diversidade biológica (genes e espécies), ciclagem de nutrientes, produção primária, formação e manutenção da fertilidade de solos, polinização, dispersão de sementes, produção de oxigênio.

Fonte: adaptado de MEA (2005a, p.57) e Costanza et al (1997).

A abordagem ecossistêmica também ressalta a interação entre diferentes tipos de serviços ecossistêmicos, por exemplo a provisão (quantidade) de água está relacionada à regulação da qualidade da água; ou um serviço de provisão de alimentos pode causar impactos negativos sobre outros serviços ecossistêmicos, como por exemplo sobre a manutenção da qualidade dos solos e das águas. A avaliação da condição dos ecossistemas, a prestação de serviços e sua relação com o bem-estar humano requer uma abordagem integrada para que em um processo de decisão seja determinado qual serviço ou conjunto de serviços é mais valorizado e como desenvolver abordagens para manter os serviços gerenciando o sistema de uma maneira sustentável (MEA, 2005a). A Figura 6 ilustra a relação entre as diferentes categorias de serviços ecossistêmicos e os diversos constituintes do bem-estar humano, como as condições materiais básicas para vida, a saúde e a segurança. Os serviços de regulação e provisão são aqueles que possuem maior relação com o bem-estar humano e maior potencial de mediação por fatores socioeconômicos, tal como os serviços de provisão e regulação da qualidade das águas para uso humano que será o foco deste trabalho e discutido nos próximos capítulos.

Figura 6 – Relações entre os serviços ecossistêmicos e o bem-estar humano



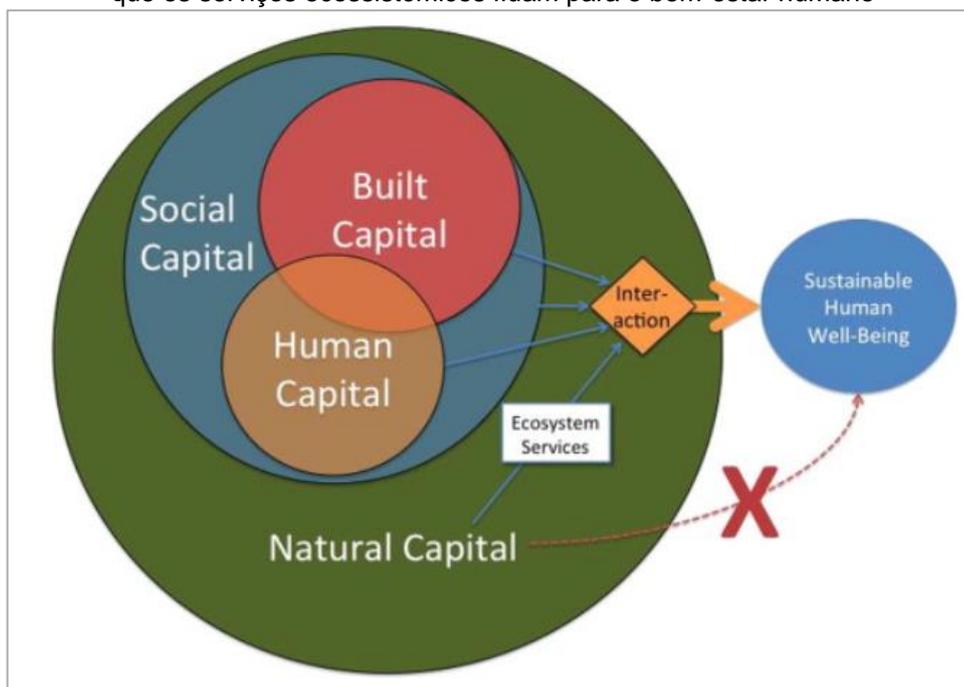
Fonte: adaptado de MEA (2005b, p. 50).

Uma vez que os serviços advindos dos sistemas ecológicos e dos estoques de capital natural são essenciais ao suporte da vida na Terra e contribuem, direta ou indiretamente, para o bem-estar humano, logo eles representam parte do valor econômico do planeta, ou seja, são passíveis de serem valorizados e valorados economicamente. Segundo Costanza et al (1997), em um dos estudos pioneiros sobre a temática no meio científico, devido ao fato do valor dos ecossistemas não ser totalmente “capturado” nos mercados financeiros ou não ser adequadamente quantificados em termos comparáveis aos serviços econômicos e ao capital manufaturado, geralmente os serviços ecossistêmicos são negligenciados nas decisões políticas pelo fato de não se conhecer ou visualizar seu real valor. Essa negligência é o motivo pelo comprometimento da sustentabilidade da vida na Terra e, de certa forma, o valor total dos serviços ecossistêmicos para a economia é infinita uma vez que a “vida na Terra pararia” sem eles (COSTANZA et al, 1997). A valoração econômica de serviços ecossistêmicos é um campo que pode contribuir para adoção de estratégias para conservação e melhoria de serviços ecossistêmicos essenciais ao

desenvolvimento humano, pautando por exemplo a estruturação de programas de pagamentos por serviços ambientais (PSA). Por isso a abordagem ecossistêmica também é comumente relacionada à economia ambiental, embora não seja necessariamente tratada sob o ponto de vista de da valoração econômica (atribuir valor monetário ou preço). Este trabalho não entrará no mérito da valoração econômica, mas sim na valorização e reconhecimento dos benefícios ecossistêmicos (dar valor e importância), conforme tratado no capítulo 4, pois segundo Costanza (2017) não há um único caminho correto para avaliar e valorizar os serviços ecossistêmicos; no entanto há uma maneira errada que é não o fazer.

Costanza et al. (1997) foram um dos primeiros autores a tratar a abordagem ecossistêmica e os serviços ecossistêmicos na literatura, dando base para as discussões posteriores, tais como CDB (2004) e MEA (2005). Vinte anos após a primeira publicação sobre o tema, Costanza et al (2017) fazem uma análise da evolução do conceito na literatura. Sob um ponto de vista da economia, nesta nova ocasião, os autores ressaltam que a promoção dos serviços ecossistêmicos depende de uma interação entre os capitais natural, social ou cultural, construído e humano. Considera que o capital natural (que não requer a atividade humana para ser mantido) deve interagir com outras formas de capital que necessitam da ação humana para serem construídos e mantidos. Dessa maneira os serviços ecossistêmicos não funcionam ou fluem apenas por meio da natureza, mas sim por uma interação com as atividades e infraestruturas desenvolvidas pelo ser humano. Por exemplo, os serviços de provisão geralmente requerem uma combinação com o capital natural, construído, humano e social: no caso de provisão de água é necessária uma fonte natural de água (capital natural), um sistema de infraestrutura para captação e purificação que dependerá da qualidade do manancial natural (capital construído – infraestrutura de abastecimento de água à população), pessoas ou empresas responsáveis pelo serviço de saneamento e pelo cuidado ambiental dos mananciais (capital social) e comunidades para serem beneficiadas pelo serviço básico de abastecimento de água (capital humano) (COSTANZA, 2017). Esses novos conceitos auxiliam a fundamentar a abordagem ecossistêmica interativa conforme apresentado no capítulo 4. A Figura 7 ilustra a relação entre os diferentes tipos de capitais para permitir que os benefícios dos serviços ecossistêmicos se transformem em benefícios à sociedade.

Figura 7 – Interação entre capital natural, construído, social e humano e as interações que permitem que os serviços ecossistêmicos fluam para o bem-estar humano



Fonte: Costanza et al (2017).

Outro fundamento importante da abordagem ecossistêmica refere-se à compreensão das relações entre múltiplos serviços ecossistêmicos, uma vez que os territórios e paisagens produzem simultaneamente múltiplos serviços ecossistêmicos que interagem em um sistema dinâmico complexo. Nesse quesito, os esforços de gestão que buscam maximizar a produção de um serviço ecossistêmicos em específico pode interferir negativamente sobre a provisão de outros serviços. Um exemplo sobre essa questão é o aumento da produção de alimentos e recursos florestais, que decorrem em um declínio de outros serviços como o controle de enchentes ou a polinização. O contrário também é possível, quando uma ação promove outros serviços ecossistêmicos além do intuito principal (BENNETT et al, 2009). Neste sentido o ideal é que seja considerada uma gestão conjunta dos diversos serviços ecossistêmicos buscando evitar a troca de um serviço pelo outro, ou seja, buscando aumentar os sinergismos e a resiliência do sistema. Nesse sentido os autores Bennett et al (2009) propõe uma série de perguntas que podem nortear o trabalho sobre a gestão de serviços ecossistêmicos, perpassando pela compreensão da natureza dos serviços ecossistêmicos; a gestão de escolhas (trade-offs) e sinergias; e a compreensão sobre os mecanismos de promoção desses serviços (Figura 8).

Figura 8 – Perguntas para compreensão da relação entre diferentes serviços ecossistêmicos

Compreendendo a natureza dos serviços ecossistêmicos	Gerenciando escolhas (trade-offs) e sinergias	Compreendendo a promoção dos serviços de provisão e regulação
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existem conjuntos consistentes de serviços ecossistêmicos associados a diferentes tipos de uso e cobertura da terra?</li> <li>• A composição desses conjuntos é moldada mais fortemente por fatores sociais ou ecológicos?</li> <li>• Como os diferentes serviços ecossistêmicos fluem pela paisagem de onde são produzidos para onde são usados ou consumidos?</li> <li>• Existem processos específicos que regulam a natureza da relação entre serviços ecossistêmicos específicos?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quais são os padrões empíricos de compensações e sinergias entre conjuntos de serviços ecossistêmicos?</li> <li>• Quais são as formas mais eficazes de mitigar as compensações (troca de um serviço em detrimento de outro) ou aumentar o sinergismo dos serviços ecossistêmicos?</li> <li>• Quão fortes são as relações entre os serviços ecossistêmicos e como a força da relação muda com o tempo, gestão e escalas?</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como os serviços de regulação afetam a dinâmica dos serviços ecossistêmicos ao longo do tempo?</li> <li>• Quais são as mudanças nos serviços ecossistêmicos que ocorrem durante as mudanças de regime? Quão abruptas são essas mudanças?</li> <li>• Como a variabilidade da provisão de serviços ecossistêmicos muda com o declínio nos serviços de regulação?</li> <li>• Em que ponto a mudança incremental no uso de serviços ecossistêmicos ou gestão ecossistêmica levará a mudanças de regime na provisão de serviços ecossistêmicos?</li> </ul>

Fonte: adaptado de Bennett et al (2009).

Por fim, outro conceito relacionado à abordagem ecossistêmica discutido na literatura trata-se dos “desserviços ecossistêmicos (Gómez-Baggethun et al, 2013; Lyytimäki, Sipila, 2009; Von Döhren, Haase, 2015; Swinton et al, 2007). Este conceito considera que algumas funções dos ecossistemas também têm efeitos prejudiciais ao bem-estar humano (Von Döhren, Haase, 2015; Lyytimäki, Sipila, 2009) ou que as mudanças ecológicas, sociais e tecnológicas fazem com que esses desserviços ecossistêmicos surjam, tais como pragas, poluição, deterioração de infraestruturas, desastres causados por inundações, ondas de calor e tempestades. Este conceito vem sendo adotado na literatura e aplicado em análises socioecológicas focadas em ecossistemas dominados pelo homem como as áreas agrícolas e urbanas (Lyytimäki, Sipila, 2009). Dessa maneira, os desserviços ecossistêmicos podem ser entendidos como todos aqueles efeitos adversos nos ecossistemas, em oposição aos benefícios sendo causados pelas alterações antropogênicas dos ambientes ou por causas naturais. Por exemplo, Arnold (2012) cita que muitas espécies de plantas polinizadas pelo vento normalmente produzem grandes quantidades de pólen em comparação

com espécies de plantas com estratégias reprodutivas diferentes, sendo que esse pólen tem potencial para produzir efeitos alergênicos e problemas respiratórios na população, causando um desserviço ecossistêmico às populações urbanas por exemplo quando são cultivadas visando os benefícios da arborização urbana.

### 3.2 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS HÍDRICOS

Os conceitos da abordagem ecossistêmica, com a apropriação dos termos “serviços ecossistêmicos” ou “serviços ambientais”, possuem uma ampla aplicação no planejamento de recursos hídricos e pautou a criação de novos instrumentos de gestão, tal como o pagamento por serviços ambientais. O planejamento de recursos hídricos é uma matéria ampla, que trata sobre o uso, manejo e conservação das águas doces e salobras em seus diferentes ambientes: seja nas cidades, compondo os esforços para drenagem urbana e segurança contra riscos de desastres, ou seja nas áreas periurbanas e rurais compondo a gestão dos diferentes uso e intervenções nos recursos hídricos. Além disso os recursos hídricos podem ser superficiais (nascentes, rios, córregos, lagos) ou subterrâneos (aquíferos explorados por meio de poços artesianos), estando ambos relacionados entre si no ciclo hidrológico. Este trabalho traz o foco sobre os recursos hídricos superficiais caracterizados como mananciais de abastecimento público de cidades e metrópoles, ou seja, está relacionado a segurança hídrica.

A segurança hídrica pode ser definida como a capacidade de uma população em salvaguardar o acesso a quantidades adequadas de água com qualidade aceitável para a manutenção da saúde humana e do ecossistema em uma bacia hidrográfica, além de garantir uma proteção eficaz da vida e da propriedade contra os perigos relacionados a água. Essa segurança é ameaçada por diversos fatores antropogênicos e naturais, tais como o crescimento populacional, o uso da terra, padrões de desenvolvimento econômico, e escassez física e econômica de água, afetando, dessa maneira, a disponibilidade hídrica para seus diferentes usos (JIMENEZ-CISNEROS, 2015). Logo compreende-se que a gestão territorial deve estar diretamente relacionada à gestão das águas e vice-versa.

Dessa maneira, sob a luz dessas considerações iniciais que permeiam a temática, neste capítulo serão abordados aspectos conceituais e fundamentos inerentes aos

serviços ecossistêmicos hídricos e a sua aplicação no planejamento de recursos hídricos e a segurança hídrica com foco na realidade brasileira e da região metropolitana de Curitiba (RMC).

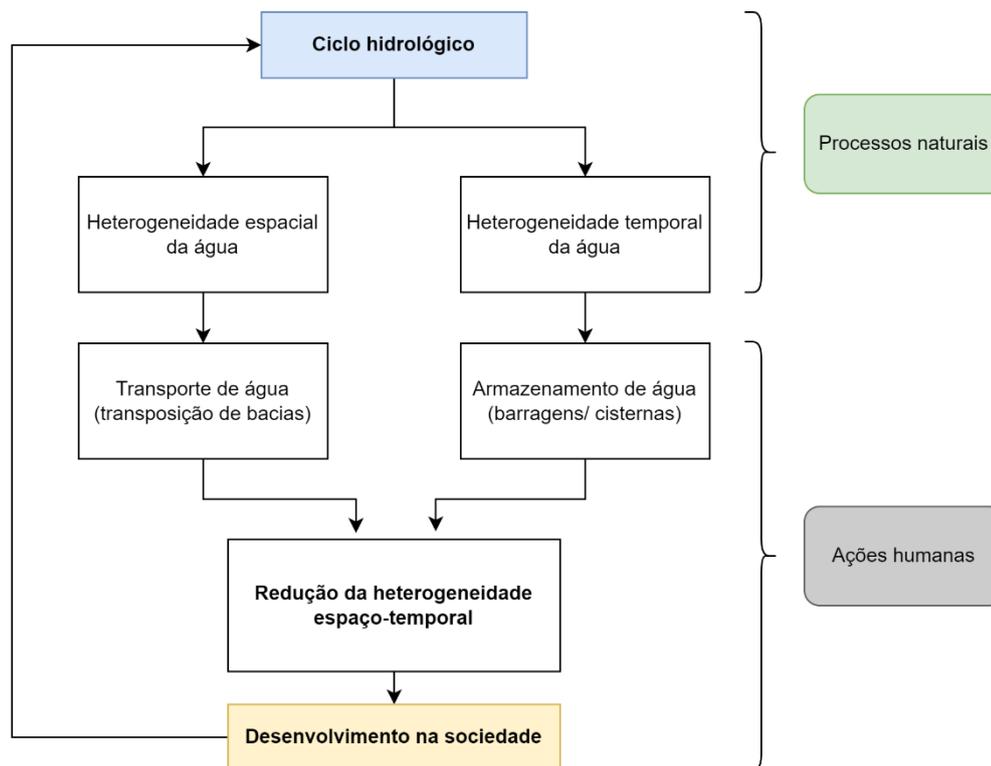
### 3.2.1 Ciclo hidrológico e serviços ecossistêmicos

Para se compreender os serviços ecossistêmicos hídricos, primeiramente se faz necessário compreender o caminho da água no ambiente, ou seja, o ciclo hidrológico e as suas características de heterogeneidade espacial e temporal que limitam a disponibilidade do recurso para os usos humanos. De acordo com UNESCO (1964) citado em Kobiyama et al. (2016), a hidrologia pode ser definida como:

“a ciência que lida com a água da Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição no planeta, suas propriedades físicas e químicas e sua interação com o ambiente físico e biológico, incluindo suas respostas para a atividade humana. A hidrologia é o campo que cobre a inteira história do ciclo da água na Terra”.

Existem três princípios básicos da hidrologia: o ciclo hidrológico, a variabilidade espacial e a variabilidade temporal das águas. O reconhecimento das heterogeneidades (variabilidades espaciais e temporais) que envolvem o ciclo hidrológico é um fundamento essencial para a engenharia de recursos hídricos, integrada à engenharia ambiental, que se debruça em modificar as heterogeneidades espaciais e temporais dos recursos hídricos a fim de se obter um melhor benefício à sociedade. Esses esforços remetem-nos aos exemplos de infraestruturas cinzas utilizadas para um maior benefício social do uso da água, tais como a transposição de bacias hidrográficas para redução da heterogeneidade espacial de recursos hídricos, levando água a regiões mais encarecidas de tal recurso; e a construção de sistemas de armazenamento de água para redução das heterogeneidades temporais (Figura 9). Em uma escala de bacia hidrográfica temos as barragens com a função de acumulação de água de períodos mais chuvosos e, a partir disso, a regularização de vazões em períodos mais secos. Em uma escala residencial/urbana temos as caixas d'água ou as cisternas de acumulação de águas de chuvas que exercem a mesma função (KOBİYAMA *et al.*, 2016). Mais à frente, no desenvolvimento da abordagem ecossistêmica interativa (capítulo 4), considera-se que estes serviços promovidos por tais infraestruturas cinzas se assemelham aos serviços ecossistêmicos de provisão hídrica (em relação à sua disponibilidade em questão de quantidade).

Figura 9 – Heterogeneidades do ciclo hidrológico



Fonte: adaptado de Kobiyama *et al.* (2016).

O ciclo hidrológico possui os seguintes componentes: a precipitação, a evaporação de superfícies líquidas (rios, lagos, mares, etc), a evaporação da água do solo, a evapotranspiração (transpiração dos seres vivos), a infiltração, a interceptação vegetal, a retenção em depressões do terreno e os escoamentos superficiais, subsuperficiais e subterrâneos. Em uma bacia hidrográfica, o uso do solo e o tipo de cobertura vegetal são variáveis que alteram sensivelmente os componentes do ciclo hidrológico citados acima. O crescimento urbano traz consigo o aumento das áreas edificadas e a impermeabilização do solo. Nesse processo há a remoção da vegetação natural e diminuição de áreas naturais para retenção e infiltração hídrica, além de eventuais ocupações de áreas marginais, o que modifica completamente o ciclo hidrológico e o clima local. Isso se traduz principalmente em problemas de enchentes urbanas (MIGUEZ, VERÓL, REZENDE, 2016, p. 26-29), além de alterar conseqüentemente a qualidade da água devido aos resíduos carreados aos corpos d'água e à ausência e deficiência de infraestrutura em saneamento básico (GARCIAS *et al.*, 2016, p. 73). Dessa maneira, além das questões de disponibilidade hídrica sob a perspectiva da quantidade, temos a interface da qualidade dos recursos hídricos compondo a problemática de disponibilidade hídrica global (em quantidade e

qualidade) para os diversos usos e demandas da sociedade, incluindo sua destinação ao consumo humano, foco desde trabalho. Ou seja, não basta apenas ter o recurso em quantidade, deve-se tê-lo em qualidade para a promoção da segurança hídrica.

Tanto nas políticas globais quanto na política brasileira sobre recursos hídricos, a água é considerada um bem essencial a todos os seres humanos. O sexto Objetivo do Desenvolvimento Sustentável da Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas busca garantir a disponibilidade e a gestão sustentável da água potável e do saneamento para todos (ONU, 2015). A Política Nacional Brasileira de Recursos Hídricos, instituída pela Lei n. 9.433/1997, tem como fundamentos que a água é um bem de domínio público, dotada de valor econômico, onde em situações de escassez o consumo humano e dessedentação de animais são prioritários, sendo que a gestão deve proporcionar os usos múltiplos da água e deve ser realizada de maneira descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997). Entre os instrumentos de gestão definidos pela Política Nacional de Recursos Hídricos citam-se: os Planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; a compensação a municípios; e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (BRASIL, 1997).

Frente à cenários de escassez hídrica cada vez maiores, compreendendo-se os impactos das ações humanas sobre as funções do ecossistema que regulam o ciclo hidrológico bem como a necessidade de intervenção para aprimoramento dessas funções, a abordagem ecossistêmica e seus termos correlatos, tais como a eco-hidrologia e soluções baseadas na natureza para a promoção de serviços ecossistêmicos, passaram a ser incluídos nas pesquisas e nas políticas de gestão das águas (MAKARIGAKIS; JIMENEZ-CISNEROS, 2019).

Este trabalho traz o foco sobre o desenvolvimento de dois serviços ecossistêmicos principais: a provisão de água (serviço de provisão - quantidade) e manutenção da qualidade da água (serviço de regulação - qualidade) de mananciais hídricos urbanos. O fornecimento seguro de água potável é um desafio crescente, particularmente em regiões onde as bacias hidrográficas têm diversos usos da terra, rápido crescimento demográfico, além de estarem sujeitos a extremos climáticos crescentes, como nos subtópicos. Neste quesito as bacias hidrográficas representam a primeira barreira na prestação de serviços ecossistêmicos relacionados à qualidade

da água e investimentos devem ser feitos para a redução do risco à qualidade da água potável para os consumidores (THOMPSON et al., 2021).

Os serviços de provisão e manutenção da qualidade da água dependem da qualidade dos ecossistemas, assim como os demais serviços ecossistêmicos, sendo que os principais promotores estão na conservação das florestas e preservação de vegetações ciliares, além das inúmeras variáveis de uso e ocupação do solo rural e urbano. As matas ciliares são massas de vegetação natural que se formam às margens de rios, riachos e córregos d'água. Elas desempenham importante papel tanto na manutenção da provisão de água quanto na manutenção da qualidade da água nos corpos hídricos. A cobertura vegetal arbórea das margens, com um sistema radicular bem desenvolvido, forma um solo rico em matéria orgânica (solo bem estruturado), facilitando a infiltração da água no solo, o que permitirá a recarga do rio em épocas secas, além de barrar o carreamento de partículas para dentro do rio, tais como solo (processos erosivos), adubos minerais e defensivos agrícolas (BUTZKE, 2009). Algumas funções hidrológicas prestadas pelos ecossistemas de matas ciliares são:

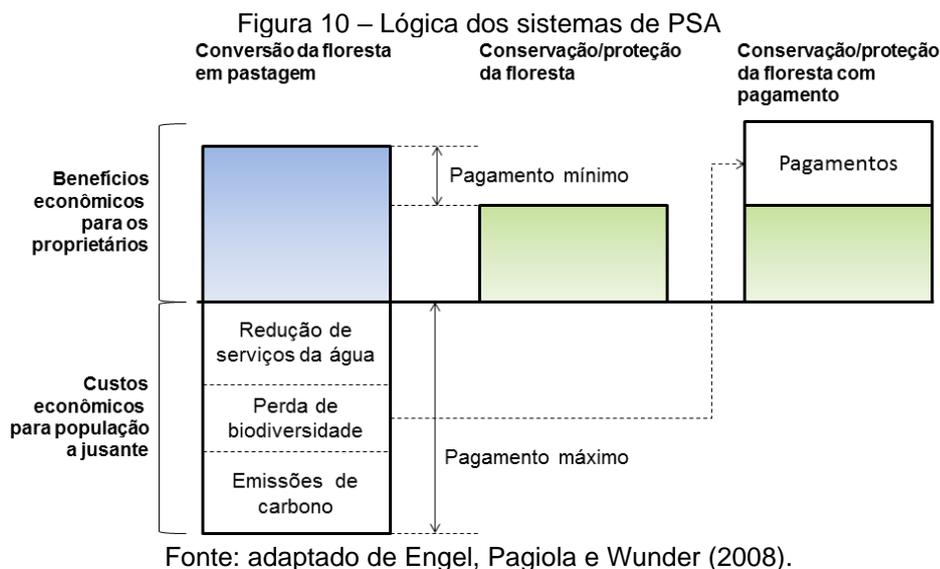
- a) a manutenção da qualidade da água em microbacias agrícolas depende da presença de mata ciliar;
- b) a remoção da mata ciliar resulta num aumento da quantidade de nutrientes no corpo d'água;
- c) o efeito benéfico da mata ciliar está relacionado à absorção de nutrientes do escoamento superficial pelo ecossistema ripário.

Além da conservação das florestas, matas ciliares e áreas úmidas, a provisão e a manutenção da qualidade da água dependem do manejo do solo e das técnicas de saneamento ambiental desenvolvidas, ou seja, depende da saúde geral das bacias hidrográficas (POSTEL; THOMPSON JR., 2005). Reconhecendo os ganhos potenciais da gestão, há geralmente a necessidade de compreender e gerir os ecossistemas em um contexto econômico (CBD, 2014). Frente à crescente exploração dos recursos naturais, alguns instrumentos de gestão ambiental foram criados, sob os princípios *poluidor-pagador*, e *usuário pagador*, que estabelece que quem utiliza o recurso natural deve suportar seus custos (KFOURI, FAVERO, 2011, p. 24). É sobre essa lógica que surge o instrumento denominado “pagamento por serviços ambientais” (PSA), baseado no princípio *provedor-recebedor*, que dá incentivos

econômicos àqueles que protegem os serviços oferecidos pela natureza (GUEDES, SEHUSEN, 2011, p.34; KFOURI, FAVERO, 2011, p. 24).

O PSA pode ser definido como uma transação voluntária entre usuários de serviços e provedores de serviços que estão condicionados a regras acordadas de gestão dos recursos naturais para gerar serviços externos (relacionados às externalidades ambientais ou ecossistêmicas) (WUNDER, 2015). Neste conceito, observa-se que essa transação não é estritamente monetária, embora o PSA se expresse por meio de incentivos econômicos aqueles que promovam benefícios à sociedade, advindos dos serviços ecossistêmicos. O PSA está relacionado ao uso do solo e ao manejo dos recursos naturais de forma a promover o serviço ecossistêmico, e demanda o acordo de regras para a gestão dos recursos naturais.

O PSA baseia-se no fato de que todo aquele que promove um serviço ecossistêmico deve receber pela sua contribuição, a qual beneficia a sociedade, sendo que a lógica tradicional do PSA correlaciona a conservação do capital natural com a provisão de serviços (Figura 10). Dessa maneira, esse instrumento de gestão busca internalizar as externalidades positivas, enquanto os princípios de usuário-pagador e poluidor-pagador buscam internalizar as externalidades negativas (ENGEL, PAGIOLA, WUNDER, 2008). Quando a gestão de mananciais hídricos urbanos considera o desenvolvimento do PSA, geralmente ele é que um incentivo recebido por um benefício gerado, ou seja, o produtor (geralmente rural) recebe uma quantia mensal em dinheiro em função da área de sua propriedade que está sendo preservada ou restaurada para a recuperação dos serviços ecossistêmicos hídricos e a sociedade recebe em troca o aumento de quantidade e qualidade de água para seu abastecimento (CIDREIRA, 2016).



Um exemplo clássico de PSA aplicado à gestão de mananciais hídricos urbanos (neste caso nota-se que a palavra “urbano” não significa que ele esteja em área urbana, mas que é importante para o abastecimento urbano) é denominado como *New York Watershed Protection Program* (Programa de Proteção de Mananciais da Cidade de Nova Iorque), nos Estados Unidos. Este programa é referente aos serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade da água de sua bacia de manancial. Na década de 1990, a cidade se viu entre as opções de investir em um capital físico, com a construção de um sistema avançado de tratamento de água, ou na recuperação da integridade dos ecossistemas de Catskill, a bacia de onde provém a água de Nova Iorque. A primeira opção de investimento, em capital físico, teria um custo de 6 a 8 bilhões de dólares, e mais 300 milhões de dólares anualmente com manutenção do sistema. A segunda opção de investimento, em capital natural, por meio da conservação das áreas dos mananciais e subsídios à construção de melhores sistemas de tratamento de esgotos e melhores técnicas de manejo em áreas rurais teria um custo total de 1 a 1,5 bilhões de dólares. Assim sendo, em 1996, a cidade de Nova Iorque investiu este valor em capital natural, esperando economizar um custo de 6 a 8 bilhões de dólares em 10 anos, tendo uma taxa interna de retorno de 90 a 170%, em um período de retorno de 4 a 7 anos (CHICHILNISKY, HEAL, 1998).

De acordo com Pires (2004), o sistema de abastecimento de água da cidade de Nova Iorque (EUA) é um tema fascinante para planejadores urbanos e regionais e um exemplo de sucesso na manutenção da provisão de serviços ecossistêmicos relacionados à água pura e limpa. O sistema chama atenção pelo fato de fornecer

água de mananciais superficiais sem a necessidade de tratamentos especiais. O sistema conta com seus desafios, os quais estão mais relacionados à modernização de infraestruturas de adutoras e reservatórios do que com o risco de integridade da qualidade dos mananciais (PIRES, 2004). No Brasil programas semelhantes têm sido desenvolvidos com o objetivo de restaurar e conservar bacias hidrográficas de mananciais de abastecimento urbano, tal como o Programa Produtor de Água coordenado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2008, 2022).

De acordo com Schimaleski (2017) e Shemaleski, Garcias (2020), o pagamento pode ser feito sempre que houver o desenvolvimento de um serviço ecossistêmico (natural ou antrópico) essencial ao equilíbrio ambiental e do qual a sociedade se beneficia, sendo essencial à vida e passível de valorização, sugerindo assim o desenvolvimento de um PSA inovador e holístico, em contrapartida ao PSA tradicional (que observa apenas a presença de capital natural) comumente observado em utilização no Brasil. O PSA tem sido subestimado e possui um potencial muito maior para a gestão ambiental das cidades, incluindo a gestão de mananciais hídricos urbanos. Ele pode ser um instrumento de auxílio ao controle para que atividades nocivas não sejam desenvolvidas e incentivador para que boas técnicas sejam adotadas.

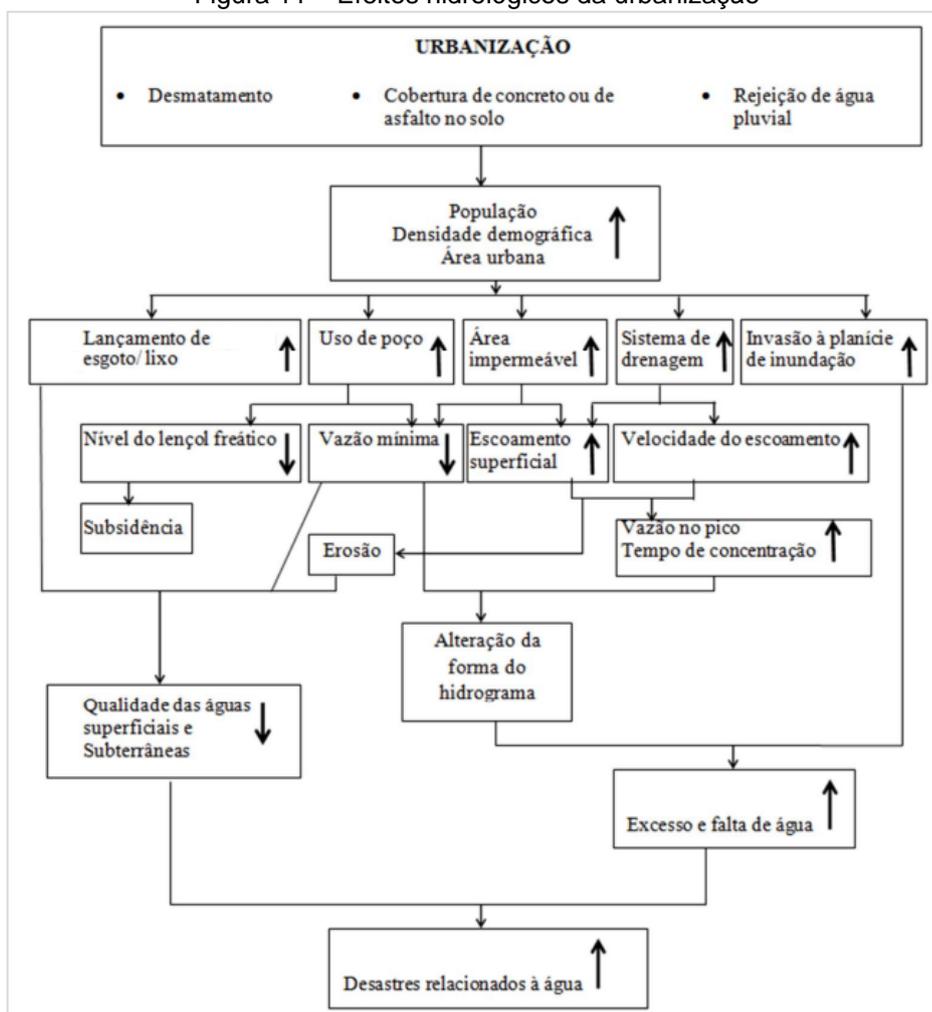
### **3.2.2 Elementos estressores sobre o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos hídricos**

Além dos efeitos das mudanças climáticas e das deficiências nos sistemas de gestão das águas, ao longo da leitura das referências teóricas selecionadas para este trabalho, foram observados relatos sobre diferentes elementos estressores sobre o desenvolvimento dos serviços ecossistêmicos relacionados aos recursos hídricos. Nesta seção, buscou-se elencar os principais elementos estressores relatados na literatura científica, estando relacionados principalmente aos diferentes usos e cobertura do solo, o qual darão base teórica para o desenvolvimento do quadro teórico proposto por essa tese.

Um dos principais aspectos relacionados a alteração do ciclo hidrológico e a perda de serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade da água é a modificação do uso e cobertura do solo que ocorre principalmente nos processos de urbanização. Nesse quesito observa-se o desmatamento, a impermeabilização do

solo e a rejeição de águas pluviais como fatores que desencadeiam uma série de alterações hidrológicas. Esse mesmo fator acontece para as áreas rurais, sendo mais ou menos significativo de acordo com a alteração da capacidade de retenção hídrica pelo solo (KOBİYAMA *et al.*, 2016). A Figura 11 apresenta uma série de relações entre fatores correlatos a urbanização e parâmetros hidrológicos. Observa-se que com o aumento da densidade demográfica e da impermeabilização do solo há um aumento dos extremos de falta e excesso de água, que oscilam entre períodos de chuvas e secas, trazendo riscos de desastres à população. Esses fatores alteram diretamente o fornecimento de serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade dos recursos hídricos. O mesmo princípio de análise dos fenômenos hidrológicos negativos causados pela urbanização podem ser aplicados às áreas rurais, onde há a transformação de áreas naturais em áreas cultiváveis, havendo alterações no regime de escoamento e conseqüentemente no ciclo hidrológico local.

Figura 11 – Efeitos hidrológicos da urbanização



Fonte: Kobiyama *et al.* (2016).

McDonough et al. (2020) comentam que em termo de hidrologia, a urbanização compromete a habilidade do ambiente natural em absorver, armazenar e lentamente devolver a água aos cursos hídricos. Os autores buscaram identificar as configurações espaciais de uso do solo que promovem os serviços ecossistêmicos de regulação de enchentes e concluíram que a configuração de paisagens com áreas úmidas e uma maior porcentagem de áreas de pastagem de baixa densidade aumentam a prestação de serviços ecossistêmicos de regulação de enchentes, além de defender que essas considerações são benéficas para gestores de bacias hidrográficas e/ou planejadores regionais que visam minimizar os impactos das inundações por meio de estratégias de desenvolvimento urbano. Para Hu et al. (2020), a mudança de uso da terra tem um impacto significativo na estrutura e função dos ecossistemas, e a transformação dos ecossistemas afeta o modo e a eficiência do uso da terra, o que reflete uma relação de interação mútua. A previsão e simulação de mudanças futuras no uso da terra podem melhorar o planejamento do uso da terra e o desenvolvimento sustentável regional.

A partir dessas considerações iniciais, torna-se importante observar a contribuição de fatores para a degradação da qualidade das águas, do ponto de vista da poluição. Existem basicamente duas formas em que poluentes podem atingir um corpo hídrico: a poluição pontual e a poluição difusa. No primeiro, os poluentes atingem a água de forma localizada e, de certa forma, fácil de ser reconhecida, tais como o lançamento de esgotos domésticos e industriais, chorume de aterros, entre outros. Já a poluição difusa, como o próprio nome afirma, é de difícil identificação e controle pois adentra os corpos hídricos de maneira distribuída ao longo de sua extensão e está relacionado a fatores diversos ao longo da área de drenagem da bacia hidrográfica (TOMAZ, 2006; MITCHELL, 2005). A poluição difusa é uma das principais razões para que os rios urbanos não alcancem seus objetivos de qualidade (MITCHELL, 2005), sendo que fatores como uso do solo, escoamento superficial e distância dos corpos hídricos estão diretamente relacionados a poluição hídrica por fontes difusas ou não pontuais (OLIVEIRA; MAILLARD; ANDRADE PINTO, 2017; MUNAFÒ et al., 2005). Segundo Tomaz (2006), os poluentes geralmente são carregados pelo escoamento da água da chuva, sendo que suas principais fontes são:

- a) resíduos sólidos depositados inadequadamente em terrenos baldios, calçadas e ruas;

- b) poluentes atmosféricos depositados sobre o solo e/ou carregados pela precipitação da água da chuva;
- c) desejos animais;
- d) biocidas e agrotóxicos;
- e) sedimentos gerados pela erosão;
- f) sujeiras em áreas urbanas, tais como poeiras, bitucas de cigarro, papéis de bala entre outros pequenos resíduos depositados pelos hábitos inadequados da população e não removidos pela limpeza pública;
- g) poeiras decorrentes do desgaste dos freios automotivos.

Tomaz (2006) afirma que existem três maneiras para controlar a poluição difusa: prevenir a entrada de poluentes no escoamento superficial, aumentar as áreas permeáveis e tratar o escoamento superficial por meio de melhores práticas de gestão. A entrada de poluentes no escoamento superficial, considerando uma área urbana, pode ser prevenida com a redução do tráfego de veículos, controle de resíduos, óleos e graxas nas ruas, e por uma limpeza pública eficiente, essas são denominadas práticas não-estruturais. O aumento das áreas permeáveis busca principalmente aumentar a infiltração das águas pluviais, sendo que o autor exemplifica essa medida como também sendo uma não-estrutural. Já o tratamento do escoamento superficial deve ser feito antes de atingir o curso d'água, usando-se para isso técnicas estruturais, tais como bacias e trincheiras de infiltração, reservatórios de detenção, *wetlands*, biofiltro, entre outros (essa temática é tratada na seção 3.2.3).

Sendo a poluição difusa um dos principais fatores para a degradação dos corpos hídricos urbanos e a drenagem de águas pluviais seu principal meio de transporte, logo se deduz que no meio rural ocorre o mesmo princípio, onde há o carreamento de nutrientes e agroquímicos utilizados no cultivo agrícola, bem como o transporte de sedimentos ocasionados pelos fenômenos de erosão do solo, além da contaminação por efluentes domésticos e agropecuários dispersos no meio rural (TOMAZ, 2006; GORDON; FINLAYSON; FALKENMARK, 2010; ONU, 2018).

Hatfield (2015) ressalta um importante aspecto de impacto ambiental da agricultura: a alteração do ciclo hidrológico devido ao potencial de modificações no microclima local, com foco nos sistemas irrigados, por meio dos processos de evapotranspiração. Associado às infraestruturas de irrigação, geralmente há a construção de reservatórios de acumulação de água, barragens e canais de derivação

de água que interferem nos cursos hídricos e na dinâmica hidrológica natural, incluindo as áreas úmidas. Efeitos de lixiviação também são comuns, onde há a solubilização de nutrientes utilizados na agricultura e sua infiltração no solo, atingindo o lençol freático (águas subterrâneas) ou por meio do carreamento superficial atingindo diretamente os cursos hídricos.

Gordon, Finlayson e Falkenmark (2010) tratam os sistemas de agricultura como promotores de serviços ecossistêmicos tais como a provisão de alimentos, fibra e madeira. Em contrapartida existem perdas de serviços ecossistêmicos relacionados a qualidade e quantidade de água. Nesse sentido a agricultura geralmente aumenta os serviços ecossistêmicos de provisão, mas causa um decréscimo dos serviços de regulação. Entre os impactos pode-se citar uma redução do fluxo nos corpos hídricos naturais devido ao uso consuntivo de água para irrigação e, decorrente desse fator que altera a disponibilidade hídrica, observa-se a degradação de áreas úmidas. Além disso ações antrópicas de drenagem dessas áreas úmidas para conversão em áreas de agricultura também contribuem para a perda de serviços ecossistêmicos reguladores que são relacionados a esses ecossistemas, sendo aumentada vulnerabilidade a inundações e à eutrofização dos corpos d'água. A qualidade da água também é alterada pelo carreamento de nutrientes, agroquímicos e assoreamento. Em conclusão os autores citam três estratégias para a gestão da água no meio agrícola, sendo primeiramente a melhoria de práticas de gestão da água em terras agrícolas; uma melhor interação com a gestão dos sistemas aquáticos a jusante e a observação de como a água pode ser gerenciada para criar agroecossistemas multifuncionais.

Não estando diretamente relacionado aos usos do solo e ações antrópicas, eventos naturais ou motivados pelas mudanças climáticas, como os incêndios florestais ocorridos na Austrália entre 2019 e 2020, também colocam em risco serviços ecossistêmicos hídricos essenciais em locais que enfrentam tal realidade. Neris et al (2021) analisaram os impactos causados sobre a maior bacia de manancial da cidade de Sydney, Austrália, após esses incêndios terem ocorrido. Uma forte chuva logo após o período de incêndios carrou grande quantidade de cinzas e sedimentos para dentro do reservatório de acumulação hídrica colocando em risco o sistema de abastecimento da cidade. As respostas aos eventos extremos demonstram ser rápidas e eficazes na Austrália, pois segundo os autores adaptações no sistema de infraestrutura de saneamento foram rapidamente feitas após o evento o que garantiu

a continuidade do sistema de abastecimento da cidade (NERIS et al., 2021). Este é um exemplo de integração de soluções de infraestrutura cinza, apoiadas por um eficiente sistema de monitoramento e gestão, para conter os déficits na oferta de serviços ecossistêmicos naturais que foram prejudicados ou degradados.

Por fim, observa-se algumas infraestruturas cinzas que podem trazer a perda de serviços ecossistêmicos. Reservatórios de acumulação hídrica e regularização de vazões construídos por meio de barragens em cursos hídricos trazem diversos benefícios sobre o ponto de vista de serviços ecossistêmicos de regulação hídrica, mas também causam impactos ambientais sobre outros aspectos (EEKHOUT et al., 2020). Ao analisar a influência da mudança do solo e do clima sobre os serviços ecossistêmicos em uma bacia hidrográfica mediterrânea durante o período analisado de 1971 a 2010, além de um período estendido para uma sub-bacia hidrográfica de manancial de 1952 a 2018, Eekhout et al. (2020) observaram a diminuição da precipitação e aumento da temperatura (em relação ao clima), o aumento da vegetação natural nas nascentes e água, intensificação da agricultura, construção de reservatórios e expansão urbana. Os autores argumentam que embora infraestruturas cinzas como a construção de reservatórios tenham mostrado importantes impactos positivos em alguns serviços ecossistêmicos, como regulação da água e controle de inundações, elas também podem induzir impactos negativos, como o risco sobre a integridade ecológica.

### **3.2.3 Infraestruturas aplicadas à promoção de serviços ecossistêmicos em ambiente urbanos e periurbanos**

Uma vez que os serviços ecossistêmicos estão relacionados aos benefícios advindos do capital natural (COSTANZA et al., 1997; COSTANZA; DALY, 1992; MEA, 2005a; DAILY et al., 2009; OUYANG et al., 2016; VÖRÖSMARTY et al., 2021), são comuns os esforços em promover a conservação ou a introdução de elementos naturais na gestão territorial e ambiental das cidades, buscando na natureza e em seus processos soluções que tornem os ambientes mais resilientes. Na literatura científica existem diversos termos correlatos a essa ideia ao tratar o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos em áreas urbanas ou periurbanas, os quais geralmente são tidos como sinônimos, apresentados em complemento um ao outro ou para se

referir a um objetivo específico. O Quadro 3 apresenta os termos selecionados, os quais serão discutidos nesse capítulo.

Apesar de diferentes palavras, todos os termos citados no Quadro 3 carregam em si uma mensagem inerente sobre a consideração dos processos da natureza no desenvolvimento de sistemas e infraestruturas principalmente no ambiente das cidades e regiões periurbanas. As áreas naturais fora do ambiente da cidade geralmente são tidas como “capital natural” e não como infraestruturas, sendo assim não são diretamente relacionadas aos conceitos acima, sendo originalmente tratadas pelas publicações relacionadas à abordagem ecossistêmica, tal como apresentado na seção 3.1. Para Escobedo et al. (2019), esses diferentes termos são metáforas relacionadas aos benefícios advindos da natureza urbana e que a palavra “infraestrutura” tem sido utilizada como referência à infraestrutura cinza tradicional. Em seu trabalho, os autores analisam a relação entre os termos “serviços ecossistêmicos”, “infraestrutura verde” e “soluções baseadas na natureza” como metáforas dos benefícios das florestas urbanas. São conceitos que surgem a partir do início da década de 2000 e se espalham por toda a literatura científica global. Trazem em si a ideia de valorização dos diversos benefícios que os componentes naturais nas cidades têm para a população e sobre a oportunidade de integração entre os componentes naturais e artificiais para um benefício sinérgico às cidades (ESCOBEDO et al, 2019).

Quadro 3 – Termos correlatos às infraestruturas naturais

<b>Termo</b>	<b>Significado</b>	<b>Referências</b>
Infraestrutura verde	Rede estrategicamente planejada de áreas naturais, seminaturais e áreas cultivadas projetadas e gerenciadas para fornecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos e proteger a biodiversidade em contextos urbanos e periurbanos.	Andersson et al. (2014); Benedict; Macmahon (2002); Cameron et al. (2012); Gill et al. (2007); Hansen; Pauleit (2014); Lovell; Taylor (2013); Meerow; Newell (2017); Norton et al. (2015); Tzoulas et al. (2007); Laforteza et al. (2013).
Infraestrutura azul-verde ou <i>blue-green infrastructure</i> – BGI	Sistemas descentralizados naturais e seminaturais (daí verde) para gestão de águas pluviais (daí azul), que, além de seu objetivo principal, fornecem uma variedade de benefícios compartilhados e serviços ecossistêmicos.	Radinja; Atanasova; Zavodnik (2021); Ghofrani, Sposito, Faggian. 2017; Gunawardena; Wells; Kershaw, 2017; Kuller; Reid; Prodanovic, 2021; Brears, 2018; Haase, 2015; Jurczak et al., 2018; Lamond; Everett, 2019; Lawson et al., 2014
Soluções baseadas na natureza – SBN	As soluções baseadas na natureza (SBN) são inspiradas e apoiadas pela natureza e usam, ou imitam, processos naturais para contribuir para o melhor gerenciamento ambiental e promoção de serviços ecossistêmicos	ONU (2018); Lehmann (2021a, 2021b); Krauze; Wagner (2019); Langergraber et al. (2020); Eggermont et al. (2015); Frantzeskaki (2019); Kabisch et al. (2016); Keesstra et al. (2018); Nesshöver et al. (2017); Raymond et al. (2017); Seddon et al. (2020); Van Den Bosch; Ode Sang (2017).
Projeto urbano sensível a água ( <i>water-sensitive urban design</i> ) e sistemas de drenagem sustentável	Abordagem de planejamento e desenho urbano que integra o ciclo hidrológico da água com o objetivo de minimizar o impacto hidrológico do desenvolvimento urbano em seu entorno. Integra soluções estruturais (infraestruturas) e não estruturais (políticas públicas).	Lloyd; Wong; Chesterfield, (2002); Ozerol et Al (2020), Beceiro et al. (2020); Williams et al., 2019; Coutts et al., 2013; Kuller et al., 2017; Roy et al., 2008; Sharma et al., 2016; Wong; Brown, 2009)

Benedict e McMahon (2006) definem o termo “infraestrutura verde” como uma “rede interconectada de espaços verdes que conservam os valores e funções do ecossistema natural e, em associação, promovem benefícios à população humana”. Ao analisar diferentes conceitos sobre o termo “infraestrutura verde”, Laforteza et al. (2013) afirmam que pode ser entendida como uma rede estrategicamente planejada de áreas naturais, seminaturais e áreas cultivadas projetadas e gerenciadas para fornecer uma ampla gama de serviços ecossistêmicos e proteger a biodiversidade em contextos urbanos e periurbanos. O conceito também é tratado sob o ponto de vista da cidade como um sistema socioecológico, onde se busca uma reconexão das áreas urbanas com a biosfera (ANDERSSON et al., 2014) e para remeter a elementos verdes dentro da cidade, tais como os jardins domésticos (CAMERON et al., 2012), sendo necessário uma evolução das pesquisas científicas para compreender a funcionalidade desses elementos, tais como a relação de espécies de plantas com o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos (CAMERON; BLANUŠA, 2016). Dessa maneira deduz-se que as infraestruturas verdes são todos os componentes de

vegetação e suas áreas de cultivo (áreas naturais) que podem ser manejados pelo ser humano para um aprimoramento do sistema socioecológico.

Em um ambiente urbano, alguns serviços ecossistêmicos são essenciais e podem estar relacionados às infraestruturas verdes ou demais infraestruturas que serão tratadas a seguir. Entre esses serviços destacam-se aqueles com a finalidade de regulação e culturais, tais como a purificação do ar, a regulação de ruído, a regulação térmica, a drenagem de águas pluviais, o tratamento de efluentes, a recreação e as contribuições para a saúde mental e física da população (GÓMEZ-BAGGETHUN; BARTON, 2013; TAVARES; BERGIER; GUARALDO, 2021). O quadro 4 apresenta a classificação de importantes serviços ecossistêmicos em áreas urbanas, conforme levantamento de Gómez-Baggethun e Barton (2013).

Quadro 4 - Classificação de serviços ecossistêmicos importantes em áreas urbanas, funções e componentes ecossistêmicos subjacentes

<b>Funções e componentes</b>	<b>Serviço ecossistêmico</b>	<b>Exemplos</b>	<b>Exemplos de indicadores</b>
Conversão de energia em plantas comestíveis através da fotossíntese	Provisão de alimentos	Hortaliças produzidas por loteamentos urbanos e áreas periurbanas	Produção de alimentos (toneladas/ano)
Percolação e regulação de escoamento de águas pluviais	Regulação do fluxo de água e mitigação do escoamento superficial	Solo e vegetação percolam água durante eventos de precipitação intensa e/ou prolongada	Capacidade de infiltração do solo (% infiltrada em relação à superfície permeável)
Fotossíntese, sombreamento e evapotranspiração	Regulação da temperatura urbana	Árvores e outras vegetações urbanas fornecem sombra, criam umidade e bloqueiam o vento	Índice de área foliar; Diminuição da temperatura por cobertura de árvores.
Absorção de ondas sonoras pela vegetação e pela água	Redução de ruído	Absorção de ondas sonoras por barreiras de vegetação, especialmente pela vegetação espessa	Área foliar (m <sup>2</sup> ) e distância às vias de trânsito (m); redução de ruído dB(A)/unidade de vegetação (m)
Filtragem e fixação de gases e partículas	Purificação do ar	Remoção e fixação de poluentes pela vegetação urbana em folhas, caules e raízes	Remoção de O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CO e PM <sub>10</sub> µm (toneladas ano-1) multiplicado pela cobertura arbórea (m <sup>2</sup> )
Barreira física e absorção de energia cinética	Moderação de extremos ambientais	Tempestade, inundações e amortecimento de ondas por barreiras de vegetação; absorção de calor durante ondas de calor severas	Densidade de cobertura das barreiras de vegetação que separam as áreas construídas do mar
Remoção ou quebra de nutrientes	Tratamento de efluentes	Filtragem de efluentes e fixação de nutrientes por zonas úmidas urbanas	P, K, Mg e Ca em mgkg <sup>-1</sup> em comparação com determinados padrões de qualidade do solo/água
Sequestro e fixação de carbono na fotossíntese	Regulação do clima	Sequestro e armazenamento de carbono pela biomassa de vegetação urbana	Sequestro de CO <sub>2</sub> pelas árvores
Movimento de gametas florais pela biota	Polinização e dispersão de sementes	Ecossistema urbano fornece habitat para pássaros, insetos e polinizadores	Diversidade de espécies e abundância de pássaros e abelhas
Ecossistemas com valores recreativos e educativos	Recreação e desenvolvimento cognitivo	Os parques urbanos oferecem múltiplas oportunidades para recreação, meditação e pedagogia	Superfície de espaços verdes públicos (ha)/habitante
Provisão de habitat para espécies animais	Observação de animais	O espaço verde urbano fornece habitat para pássaros e outros animais que as pessoas gostam de observar	Abundância de pássaros, borboletas e outros animais valorizados por seus atributos estéticos

Fonte: Gómez-Baggethun e Barton (2013).

Considerando a integração dos sistemas hidrológicos entre o ambiente construído e natural do meio urbano e sua importante relação com os serviços ecossistêmicos de controle de inundações e regulação da qualidade das águas, observamos uma adaptação do termo “infraestrutura verde” para “infraestrutura azul-verde”, dando base para as abordagens denominadas “projeto urbano sensível a água” e “drenagem sustentável”. Segundo Radinja; Atanasova; Zavodnik (2021), as infraestruturas azul-verde “consistem em sistemas descentralizados naturais e seminaturais (daí verde) para gestão de águas pluviais urbanas (daí azul), que, além de seu objetivo principal, fornecem uma variedade de benefícios compartilhados e serviços ecossistêmicos”. Ghofrani, Sposito e Faggian (2017) abordam o conceito de infraestruturas azul-verde como estratégias para enfrentamento dos impactos severos das mudanças climáticas, tais como as secas mais intensas e duradouras e o aumento na frequência e intensidade de chuvas fortes. Os autores consideram que as infraestruturas azul-verde são uma rede interconectada de componentes paisagísticos naturais e projetados, incluindo corpos d’água e espaços verdes que fornecem múltiplas funções, não apenas relacionadas ao ambiente urbano, tais como: o armazenamento de água para irrigação e uso industrial, o controle de inundações, o controle de erosão em áreas de agricultura, áreas úmidas para habitat de vida selvagem e purificação da água (GHOFRANI; SPOSITO; FAGGIAN, 2017). A partir desse conceito podemos concluir que a água é um elemento integrador entre as estruturas naturais e construídas/antropizadas nas cidades e no campo, sendo que a revitalização do ciclo hidrológico nestes ambientes representa a oportunidade de ganho de múltiplos serviços ecossistêmicos e benefícios sociais.

Diversos tipos de infraestruturas e combinações podem ser feitas sob o princípio azul-verde, entre elas citam-se aquelas que buscam promover a infiltração da água no solo (parques e florestas, floreiras e árvores para fluxo de águas pluviais, jardins e valas de retenção biológica, telhados verdes), o armazenamento da água (áreas úmidas – *wetlands*, bacias de armazenamento das águas de chuva) e a detenção momentânea das águas de chuva para lentamente serem fluídas pelo ambiente (lagoas de detenção superficial) (GHOFRANI; SPOSITO; FAGGIAN, 2017). Esses conceitos e infraestruturas remontam a soluções que são baseadas nos processos naturais do ciclo hidrológico, tentando “imitá-los” visando um aprimoramento dos sistemas que envolvem os recursos hídricos. Disso surgem as abordagens voltadas a drenagem sustentável, tal como o projeto urbano sensível a

água que contrapõe as infraestruturas convencionais de drenagem urbana que geralmente são projetadas para exportar rapidamente as águas pluviais para longe do ambiente urbano visando a redução do risco de inundação criado pela extensa cobertura com baixa impermeabilidade (COUTTS et al., 2013).

O Projeto Urbano Sensível a Água pode ser definido como uma abordagem de planejamento e desenho urbano que integra o ciclo hidrológico da água com o objetivo de minimizar o impacto hidrológico do desenvolvimento urbano em seu entorno (LLOYD; WONG; CHESTERFIELD, 2002), tendo como princípios o desenvolvimento por meio de medidas estruturais (infraestruturas diversas) e não estruturais (políticas públicas) (KULLER et al., 2017). Segundo Coutts et al. (2013), essa abordagem fornece mecanismos para reter o recurso hídrico na paisagem urbana por meio da coleta e reutilização das águas pluviais além de reduzir as temperaturas urbanas por meio do aprimoramento da evapotranspiração e do resfriamento das superfícies. Dessa maneira observa-se o fornecimento de múltiplos benefícios advindos do desenvolvimento de projetos urbanos sensíveis à água, que excedem ao objetivo mais comum de drenagem sustentável. Outro termo correlato é denominado como “cidade esponja” ou “bacia hidrográfica esponja”, onde são relacionados o desenvolvimento urbano com a conservação ecológica das bacias hidrográficas urbanas (WANG et al., 2021).

Por fim, todos esses conceitos convergem para a ideia central do termo “soluções baseadas na natureza - SBN”, sendo tratada com especial atenção pela Organização das Nações Unidas (ONU) no relatório anual sobre desenvolvimento da água no ano de 2018, onde é feita a seguinte definição com relação ao seu uso para gestão dos recursos hídricos:

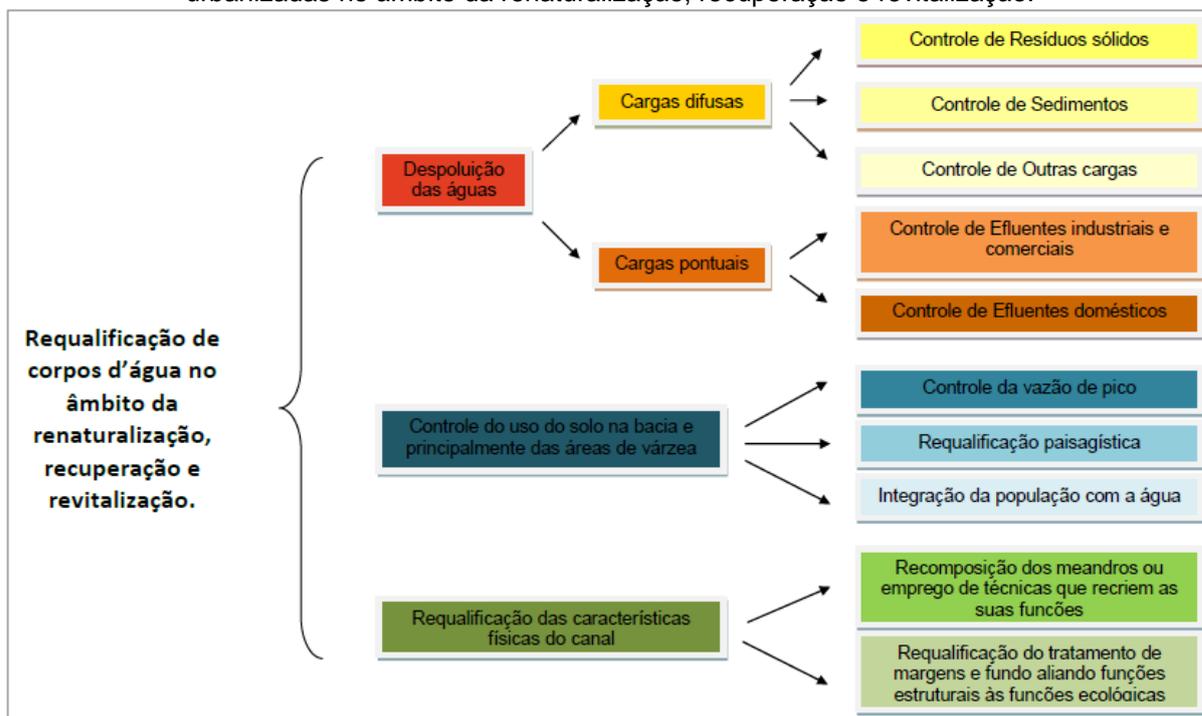
“As soluções baseadas na natureza (SBN) são inspiradas e apoiadas pela natureza e usam, ou imitam, processos naturais para contribuir para o melhor gerenciamento da água. A característica definidora de uma SBN não é, portanto, se um ecossistema usado é “natural”, mas se os processos naturais estão sendo gerenciados proativamente para alcançar um objetivo relacionado à água. Uma SBN usa serviços ecossistêmicos para contribuir para um resultado de gestão da água. Uma SBN pode envolver a conservação ou reabilitação de ecossistemas naturais e/ou o aprimoramento ou criação de processos naturais em ecossistemas modificados ou artificiais. Eles podem ser aplicados em escalas micro ou macro.” (ONU, 2018).

Kabisch et al., (2016) consideram que as soluções baseadas na natureza são infraestruturas que promovem a manutenção, o aprimoramento e a restauração da biodiversidade e dos ecossistemas como um meio de abordar várias preocupações

simultaneamente. Lehmann (2021a, 2021b) aborda a renaturalização e a recuperação como estratégias para fortalecer a resiliência urbana, sendo que as soluções baseadas na natureza aplicadas para esses intuitos podem gerar benefícios significativos para os cidadãos, melhorar a saúde e o bem-estar urbano e oferecer uma oportunidade de implantar efetivamente a natureza para ajudar a resolver os principais desafios sociais, tais como inclusão social, segurança alimentar e redução do risco de desastres. No entanto, o autor ressalta que é essencial que o desenho das SBN esteja totalmente integrado com outras intervenções complementares de planejamento e busque sinergias em todos os setores.

A respeito das práticas para requalificação que estão relacionadas ao aprimoramento das funções e serviços ecossistêmicos relacionados aos recursos hídricos urbanizados, Silva (2017) apresenta três conceitos: renaturalização, revitalização e recuperação. A **renaturalização** busca restabelecer as relações entre o corpo hídrico e a paisagem visando a reconstituição de condição natural ou o mais próximo possível dessa condição. A **revitalização** busca restabelecer as relações entre o corpo hídrico e a paisagem de forma funcional, por meio da sua reintrodução dando-lhe nova vida, sem privar outros usos. Já a **recuperação** busca reestabelecer minimamente as condições físicas, químicas e biológicas do corpo d'água para que se atinjam condições sanitárias satisfatórias, garantindo a despoluição do corpo hídrico (SILVA, 2017). A Figura 12 apresenta os principais temas a serem considerados no processo de requalificação de corpos hídricos, conforme defendido por Silva (2017), sendo a despoluição das águas (controle de cargas pontuais e difusas); o controle do uso do solo na bacia hidrográfica, com ênfase ao cuidado com as áreas de várzea; e a requalificação das características físicas do canal. Todas essas ações para a requalificação dos corpos hídricos podem ser pensadas e executadas sob o ponto de vista da renaturalização, da revitalização e da recuperação (SILVA, 2017).

Figura 12 - Frentes envolvidas na requalificação de cursos d'água em bacias hidrográficas urbanizadas no âmbito da renaturalização, recuperação e revitalização.



Fonte: Silva (2017).

Diferentes usos e cobertura do solo podem promover a poluição das águas, mas alguns podem também funcionar como um filtro para que poluentes, principalmente os difusos, não adentrem os corpos hídricos. Neste caso as áreas com vegetação, principalmente as áreas úmidas e matas ciliares no entorno dos rios, podem desempenhar um importante papel de filtragem do escoamento superficial que carrega poluentes aos corpos hídricos (OLIVEIRA; MAILLARD; ANDRADE PINTO, 2017). ONU (2018) recomenda que formas “mais amigáveis aos ecossistemas” sejam adotadas, como as *wetlands* para manejo da qualidade e acumulação hídrica, em contrapartida as infraestruturas cinzas como as barragens. As *wetlands* (áreas úmidas) construídas são uma das principais SBN e possuem benefícios que se assemelham às áreas úmidas naturais. São utilizadas para o tratamento e mitigação de fontes poluidoras presentes nas águas de escoamento da chuva e efluentes, além do controle de sedimentos. Em geral as SBN aplicadas à gestão das águas tentam recriar e aprimorar funções naturais essenciais ao equilíbrio do ciclo hidrológico tais como a infiltração, o armazenamento hídrico e a evapotranspiração (ONU, 2018).

Mitchell (2005), considerando um cenário europeu, afirma que as soluções em infraestruturas de drenagem sustentável geralmente são implantadas em áreas de novo desenvolvimento urbano, onde há maior disponibilidade de áreas livres, mas

apesar de oportunidades limitadas, elas também devem ser instaladas em áreas construídas como maneira de reduzir as cargas difusas de poluentes. Bertolino (2020), ao desenvolver um sistema de suporte a tomada de para implantação de medidas alternativas de microdrenagem pluvial, considerou as áreas livres urbanas como sendo locais potenciais para o desenvolvimento de tais infraestruturas que podem atuar em conjunto com as infraestruturas cinzas já existentes nas áreas urbanas. Dessa maneira observa-se que quanto mais construída ou urbanizada seja uma área, menos opções de SBN serão possíveis de serem adotadas. Mas também é comum a presença de áreas livres urbanas sem o aproveitamento de seu potencial para drenagem sustentável, como citado por Bertolino (2020) e Radinja et al. (2021). Ao observar as características de cidades eslovenas, Radinja et al. (2021) afirmam que devido às práticas de planejamento espacial estabelecidas, há uma quantidade suficiente de áreas verdes distribuídas de forma relativamente uniforme, mas não planejadas de acordo com os princípios da BGI e, portanto, seu potencial de gerenciamento de águas pluviais não é utilizado.

### 3.3 INTERAÇÃO ENTRE SOLUÇÕES NATURAIS E CINZAS

Este capítulo foi construído a partir de uma revisão sistemática da literatura buscando observar trabalhos que abordem o uso conjunto de infraestruturas naturais e cinzas como estratégias para a garantia de serviços ecossistêmicos ou benefícios importantes ao desenvolvimento humano sustentável. Devido a um baixo número de trabalhos que abordam a temática interativa (infraestruturas naturais e cinzas) voltada à provisão de água doce, optou-se por apresentar neste capítulo um panorama geral das observações que são feitas em trabalhos que discutem as diferenças ou as interações entre os diferentes tipos de infraestrutura. Dessa maneira, esse levantamento buscou selecionar trabalhos cuja ideia se aproximem das ideias defendidas nessa tese: a necessidade de interação entre diferentes tipos de infraestruturas para a otimização dos sistemas socioecológicos.

Encontra-se na literatura um grande volume de trabalhos que discutem os benefícios das infraestruturas naturais ou baseadas na natureza como uma temática emergente e atual na gestão do desenvolvimento ambiental sustentável (MEA, 2005; ANDERSSON et al., 2014; CAMPS-CALVET et al., 2016; COUTTS; HAHN, 2015;

SEDDON et al., 2020; KEESSTRA et al., 2018). Mas, sob a mesma perspectiva adotada nesta tese, alguns trabalhos científicos observam a necessidade de interação entre soluções naturais e cinzas como uma maneira de potencializar os benefícios e minimizar as limitações de ambos os tipos de infraestruturas. Esses trabalhos foram selecionados a partir da segunda revisão sistemática da literatura (metodologia descrita no capítulo 2) e demonstram em comum, em sua maioria, a necessidade de soluções interativas entre infraestruturas cinzas e naturais para redução das ameaças sobre as funções ecossistêmicas necessárias à vida.

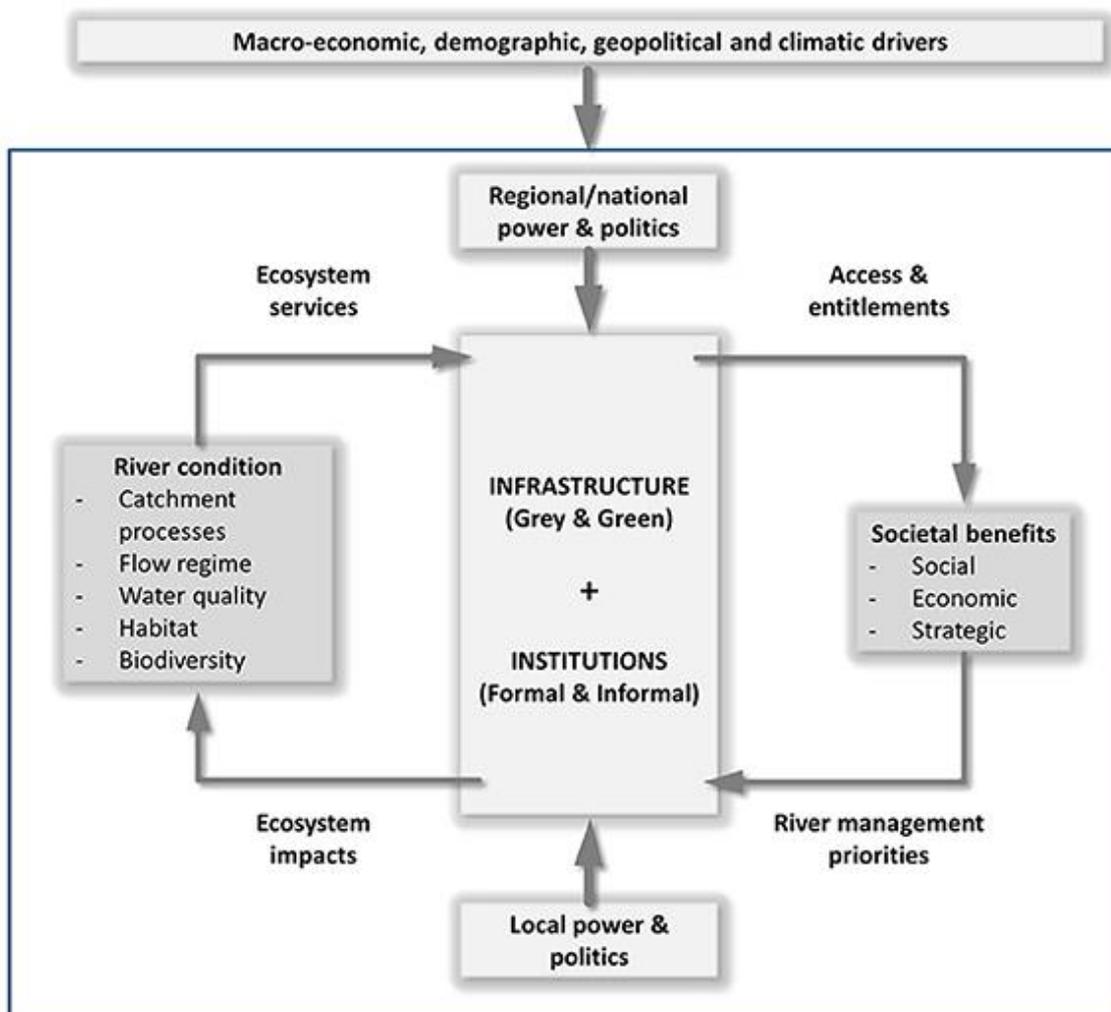
### **3.3.1 Abordagens presentes na literatura científica**

Green et al. (2015) discutem a provisão de serviços ecossistêmicos relacionados à água doce para abastecimento humano, observando os fatores da crise hídrica e quais são as melhores estratégias para a promoção da segurança hídrica. Os autores elencam que as estratégias devem considerar primeiramente a conservação das áreas naturais promotoras do serviço (capital natural de água doce) e posteriormente, se necessário, os investimentos em infraestrutura, pelo fato de considerar que as soluções de engenharia podem ser muito dispendiosas. Para tanto, uma boa opção seria combinar soluções baseadas na natureza com infraestruturas de engenharia tradicional (cinzas) para garantir e salvaguardar as provisões de água doce para as populações que necessitam de tal benefício.

Tickner et al. (2017) apresentam um framework para as políticas, planejamento e gestão de rios pautada na interação entre infraestruturas cinzas e naturais. Os autores argumentam que as estruturas e processos físicos e sociais são necessários para obter múltiplos benefícios dos sistemas hídricos, sendo que essas estruturas e processos, na forma de instituições (formais e informais) e infraestrutura (cinza e verde) moldam como os benefícios se acumulam para diferentes grupos na sociedade. A partir disso é proposto um framework que compõe perspectivas e informações de diferentes disciplinas e escolas de pensamento que contribuem para a gestão das águas, combinando abordagens de serviços ecossistêmicos (tema que é foco de ecologistas e economistas ambientais) e abordagens de segurança hídrica e gestão de recursos hídricos (tema foco da engenharia de recursos hídricos e atualmente das ciências sociais). A Figura 13 apresenta esse modelo conceitual

(framework), sendo que os autores fazem uma distinção entre “serviços ecossistêmicos” e “benefícios sociais”, considerando os serviços ecossistêmicos tal como a tradicional conceituação presente na literatura (benefícios dos ecossistemas naturais ao bem-estar humano). Já os benefícios representam a integração de outras formas de capital (construído, humano e social) como necessários para se complementar os serviços ecossistêmicos e efetivamente realizar o ganho de bem-estar. Dessa maneira os autores consideram algumas questões chave para nortear a gestão de recursos hídricos, tais como as características das condições do recurso hídrico e dos benefícios sociais, infraestruturas e instituições, políticas e poder, serviços ecossistêmicos, acesso e direitos, prioridade sobre a gestão das águas e impactos ecossistêmicos.

Figura 13 – Modelo conceitual proposto por Tickner et al. (2017) para pesquisas, políticas e planejamentos de recursos hídricos



Fonte: Tickner et al. (2017)

Boix-Fayos et al. (2020) discutem a interação entre infraestruturas cinzas e naturais em bacias hidrográficas de regiões montanhosas no Mediterrâneo, citando que ambos são complementares e que a priorização deve ser baseada em critérios econômicos, ecológicos e culturais. Os autores concluem, por meio de uma análise de diferentes cenários aplicados a uma bacia hidrográfica rural na Espanha, que as soluções que respeitam a paisagem e dinâmica ecológica são mais sustentáveis e mais baratas a médio e longo prazo do que cenários baseados em infraestruturas cinzas, embora essa última possa ter impactos mais desejáveis a curto prazo. A conclusão do trabalho dá suporte para a afirmação de que a restauração natural e a aplicação de soluções baseadas na natureza são mais sustentáveis economicamente como soluções de longo prazo. Os autores ressaltam ainda que conceitos como “serviços ecossistêmicos” poderiam ser facilmente incorporados em diversos planos de manejo.

Ao analisar os impactos da construção de reservatórios (infraestruturas cinzas) e as mudanças do clima e do uso do solo sobre os serviços ecossistêmicos em uma grande bacia hidrográfica mediterrânea, Eekhout et al. (2020) citam que, no contexto analisado, os impactos positivos das infraestruturas cinzas não são maiores do que seus impactos negativos e argumentam, após resultados de sua pesquisa, sobre a necessidade da mudança para infraestruturas verdes e soluções baseadas na natureza, como reflorestamento e gestão sustentável da terra, que podem trazer benefícios semelhantes em relação aos serviços ecossistêmicos, mas sem os impactos negativos causados pelas infraestruturas cinzas. Segundo os autores, as infraestruturas cinzas como os reservatórios construídos tiveram impactos positivos em alguns serviços ecossistêmicos, tais como a regulação das águas e controle de inundações, mas também podem induzir impactos negativos, como aumento da demanda de água e risco à integridade ecológica.

Já Mulligan et al. (2020) abordam a integração entre engenharia, ciências naturais, físicas e sociais no que denominam de “infraestruturas híbridas” compostas por infraestruturas verde-azul-cinza em assentamentos informais em Nairóbi (Quênia). Os autores trazem o foco para os riscos hidroclimáticos a que estão expostas cidades e bairros informais em expansão da África Subsaariana, onde a gestão da drenagem de águas pluviais e de efluentes são fundamentais para a melhoria das condições de vida da população. No estudo, foram observados e relatados os benefícios e limitações da implementação e gerenciamento de infraestruturas verde (naturais), azul

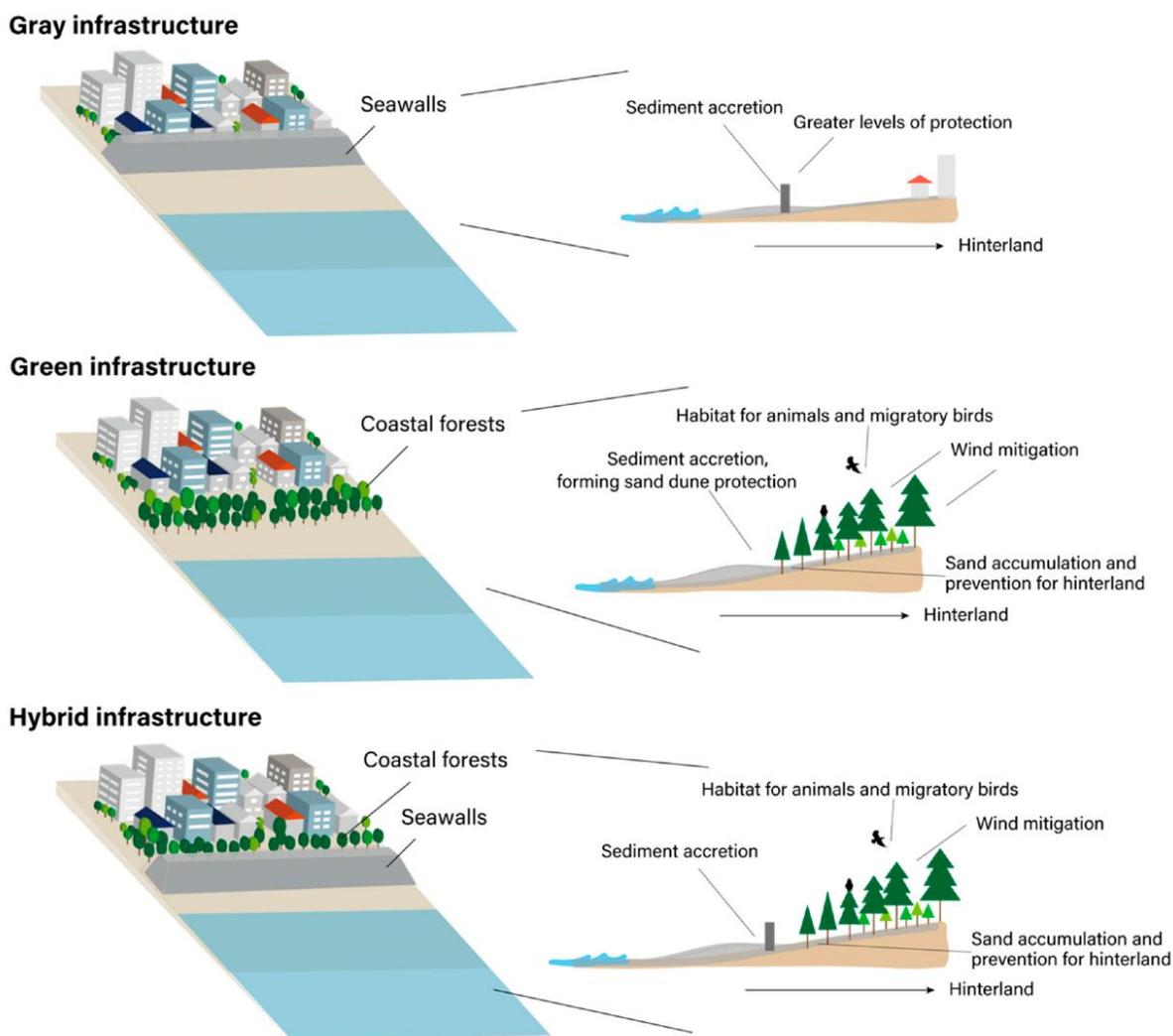
(soluções baseadas na natureza) e cinza como soluções locais em um ambiente urbano informal. Foram analisados dez projetos concluídos de espaços públicos que apresentavam infraestrutura de drenagem urbana no bairro informal de Kibera, cidade de Nairobi, com diferentes combinações de infraestrutura azul, verde e cinza. Os autores concluíram o trabalho com a afirmação de que modelos híbridos de infraestrutura e governança representam uma abordagem mais resiliente em um ambiente urbano informal e que a participação na tomada de decisões, assim como a capacitação e recursos para a manutenção das infraestruturas locais de drenagem tem sido fatores preponderantes para a longevidade e sustentabilidade.

Ao propor um framework para auxiliar gestores na identificação e implementação de ações potenciais para a restauração de rios urbanos, Guimarães et al. (2021) citam que em alguns casos a implementação de infraestruturas azul-verde isoladas não é suficiente para o intuito, sendo necessário a adoção conjunta de infraestruturas cinzas. Isso pode ocorrer também em bacias densamente urbanizadas e modificadas onde ações apenas no pequeno espaço da calha do rio não são suficientes, sendo necessário ações diversas em toda a bacia hidrográfica de contribuição. Dessa maneira ações focadas exclusivamente no processo de “autocura” do rio e das planícies de inundação podem ser ineficazes para a restauração de recursos naturais, acrescida de uma baixa aceitação popular devido ao longo tempo necessário para esse processo.

Os esforços para proteção de áreas costeiras é um exemplo de área de estudo da engenharia que aplica amplamente soluções baseadas em infraestrutura cinzas. Otori (2021), ao discutir a temática do aumento do nível dos mares, defende que ambas as soluções naturais e cinzas, quando aplicadas sozinhas, apresentam limitações em responder a um constante aumento da intensidade e frequência de desastres naturais e que as infraestruturas híbridas são necessárias, começando a ter uma maior atenção. Um exemplo de infraestrutura cinza amplamente utilizada para conter os impactos do mar e dos processos costeiros são os denominados “*seawalls*” (paredões), enquanto as infraestruturas naturais são representadas principalmente pelas florestas costeiras. Na pesquisa por meio de entrevistas, o autor observou o reconhecimento da população sobre as funções das infraestruturas cinzas a medida que os cenários se tornavam mais severos e que 60% preferiram infraestruturas naturais estando dispostos a pagar para a expansão de florestas costeiras, embora não se conheça com clareza o real desempenho dessas infraestruturas. O uso de

ambas as infraestruturas, em um cenário de infraestruturas híbridas, demonstrou ser a opção que traz maiores benefícios tanto para o ser humano quanto para a natureza, sendo citado um fator de necessidade de valorização da qualidade do ambiente para uso da praia para recreação e turismo, que impacta o valor imobiliário dos imóveis nas áreas costeiras. A Figura 13 apresenta exemplos do que seriam as infraestruturas cinza, natural e híbrida aplicada à proteção da costa contra efeitos impactantes do mar.

Figura 14 – Exemplo de infraestruturas cinzas, verdes e híbridas aplicadas para proteção de áreas costeiras



Fonte: Omori (2021).

A drenagem urbana é uma área de estudo que apresenta maior discussão sobre a combinação entre infraestruturas cinzas e naturais (Koutis et al 2021; Bertolino, 2021; Wojciechowska et al., 2021; Ncube, Arthur, 2021; Zhang et al., 2021; Bernello, Mondino, Bortolini, 2022). Hoover e Hopton (2019) e Shifflet et al. (2019)

citam que as infraestruturas cinzas, convencionais no manejo da drenagem urbana, tem excedido sua capacidade projetada. Para isso as infraestruturas verdes podem ser utilizadas em substituição ou em complemento à infraestrutura cinza insuficiente ou inadequada, visando o desenvolvimento de serviços ecossistêmicos essenciais aos espaços urbanos.

Wojciechowska et al. (2021) discutem, no campo da arquitetura, a diferença entre as abordagens “cinza”, “azul-cinza”, “azul-cinza-verde” e “azul-verde” e sua aplicação na gestão de águas pluviais sob os pontos de vista de sensibilidade à água, estética, funcionalidade, e percepção do público. Um estudo de caso foi realizado objetivando cenários de revitalização de um córrego/ canal de drenagem canalizado dentro do campus de uma universidade na Polônia. A abordagem cinza é a atual infraestrutura e situação do canal de drenagem canalizado, cujo espaço acima é utilizado para passeios e estacionamento de carros. A abordagem azul-cinza seria uma primeira gradação, onde há a descanalização e a mostra da água no ambiente (elemento azul). A abordagem azul-cinza-verde seria igual a anterior, mas acrescido alguns elementos de vegetação à paisagem. Já a abordagem azul-verde refere-se à remoção de toda a estrutura cinza convencional para aplicação de soluções baseadas na natureza e princípios de drenagem sustentável (recomposição natural do leito do córrego, criação de jardins de chuva, bacias de acumulação e infiltração, telhados verdes). A opção azul-verde foi a que apresentou maiores benefícios a respeito dos pontos de vista analisados. A partir disso, nessa situação analisada, os autores concluíram que as infraestruturas verdes têm o potencial para substituir as infraestruturas cinzas convencionais e aumentar a resiliência frente às mudanças climáticas e riscos de desastres. Os autores também citam que durante o processo de projeto e design das infraestruturas de drenagem, os benefícios devem ser otimizados sob o paradigma dos serviços ecossistêmicos para obtenção dos melhores resultados para cada nova área urbana desenvolvida, sendo que neste processo o envolvimento social é essencial e relevante para alcançar soluções mais funcionais e aceitáveis.

Vörösmarty et al. (2021) buscaram analisar a viabilidade de combinação entre capital natural e abordagens baseadas em engenharia (verde-cinza) para enfrentamento das ameaças à segurança hídrica no século 21 em uma escala global. Segundo os autores observa-se uma forte dependência de abordagens baseadas em engenharia (infraestruturas cinzas) para compensar um legado de degradação

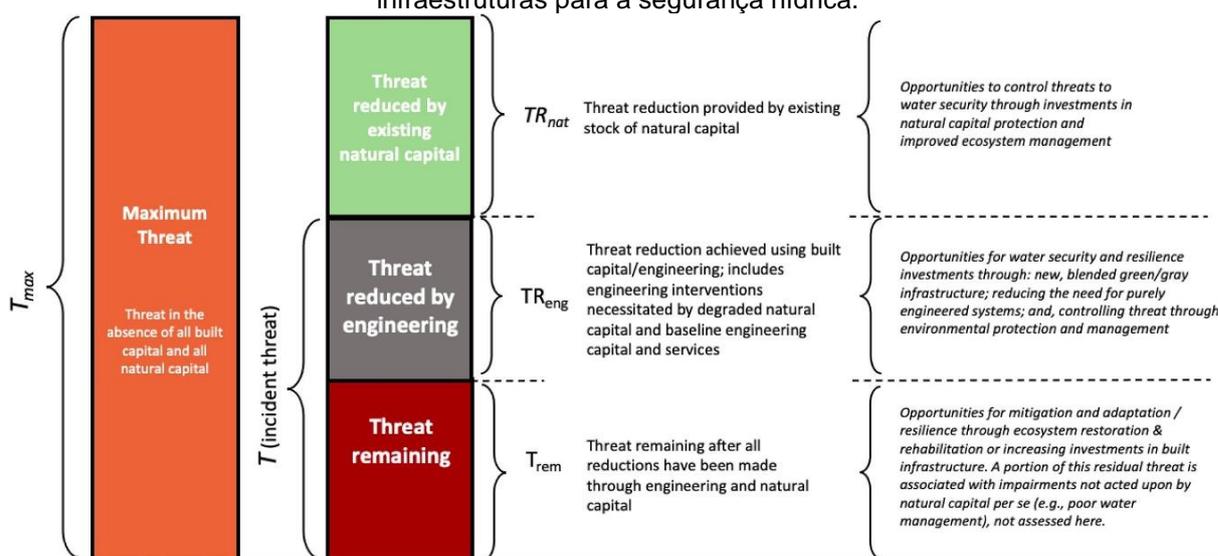
ambiental dos recursos hídricos. Em contrapartida, em ambientes ainda conservados, reter os estoques existentes de capital natural traz oportunidades para empregar técnicas mistas de infraestruturas naturais e cinza. Os autores estimam que os custos de engenharia (infraestrutura cinza) para atingir um nível de gerenciamento equivalente das ameaças são, em média, duas vezes mais caros do que a manutenção do capital natural, dessa maneira aqueles países que expandem rapidamente seus investimentos em engenharia enquanto perdem capital natural serão os mais limitados em questão da gestão dos recursos hídricos. Os autores defendem ainda que as políticas que apoiam abordagens mistas verde-cinza oferecem um caminho para a futura segurança hídrica global, exigindo um compromisso estratégico com a conservação do capital natural.

Alguns conceitos apresentados por Vörösmarty et al. (2021) se assemelham a abordagem conceitual defendida nessa tese, conforme é apresentado no capítulo 4 deste trabalho. No contexto da segurança hídrica, os autores consideram que o capital natural representa as infraestruturas naturais tais como planícies aluviais, lagos e rios, ou seja, ecossistemas terrestres e aquáticos diretamente relacionados ao ciclo hidrológico. Sob o ponto de vista da funcionalidade, essas infraestruturas naturais são análogas, ou seja, semelhantes às infraestruturas tradicionalmente construídas, tais como as estações de tratamento de água e esgoto e sistemas de drenagem. Ambos os tipos de infraestrutura, por meio dos serviços que prestam à sociedade, podem ser desenvolvidos para aprimorar a segurança hídrica humana (VÖRÖSMARTY et al., 2021).

A Figura 15 apresenta este modelo conceitual de Vörösmarty et al. (2021) que integra os diferentes tipos de infraestrutura como redutoras das ameaças à segurança hídrica, a partir das quais oportunidades podem ser levantadas e analisadas. Os autores tratam o controle das ameaças (*threat*) sob uma perspectiva hierárquica. A princípio a ameaça máxima ( $T_{máx}$ ) sobre a segurança hídrica pode ser reduzida pelo capital natural existente ( $TR_{nat}$ ), restando o que se denomina como ameaça incidente, a qual pode ser reduzida utilizando-se o capital construído/engenharia restando, por sua vez, as ameaças remanescentes. As ameaças remanescentes não estão apenas relacionadas a deficiências nas infraestruturas, mas também por deficiências nos sistemas de gestão. O trabalho conclui que perdas crescentes de capital natural se traduz em custos substancialmente mais altos e ineficiências para alcançar a segurança hídrica no futuro. A contenção desses custos e o desenvolvimento

sustentável dos recursos hídricos podem ser alcançados preservando o capital natural e incorporando-o sabiamente nos sistemas de gestão da água, sendo que a engenharia tradicional é uma parte necessária da solução, mas não é econômica nem ambientalmente viável como a única abordagem para tal finalidade (VÖRÖSMARTY et al., 2021).

Figura 15 – Modelo conceitual de Vörösmarty et al. (2021) sobre a relação entre ameaças e infraestruturas para a segurança hídrica.



Fonte: Vörösmarty et al. (2021).

Ao analisar o dilema da crise hídrica na cidade de Itabuna, no estado brasileiro da Bahia, Mattos et al. (2019) observaram um cenário de crise mesmo havendo abundância de água devido às características climáticas locais. Observou-se que a crise hídrica não decorreu apenas de eventos naturais, mas principalmente pela degradação dos serviços ecossistêmicos das bacias de mananciais. Os autores concluíram que a implantação de um reservatório com barragem não foi suficiente para garantia da segurança hídrica, sendo necessário a adoção de políticas e ações para restauração e preservação das bacias de mananciais como alternativas para efetivamente regular a produção hídrica e promover uma segurança hídrica resiliente e sustentável. Dessa maneira, neste trabalho, observa-se novamente o potencial de interação entre o desenvolvimento de diferentes infraestruturas.

### 3.3.2 Panorama geral sobre o assunto

Esse levantamento demonstrou uma tendência dos trabalhos científicos em atrelar o uso de infraestruturas cinzas como um resultado decorrente dos impactos de degradação dos ecossistemas ou de efeitos naturais adversos, onde grandes investimentos são feitos em tecnologias de tratamento e infraestruturas buscando remediar os efeitos causados pela degradação, considerando que uma melhor maneira de gestão e proteção dos benefícios ambientais seria preservando as funções naturais (GREEN et al., 2015; EEKHOUT et al., 2020) ou aprimorando-os por meio de outras ações e infraestruturas para alcançar efetivamente os melhores benefícios sociais (TICKNER et al., 2017; OMORI, 2021; VÖRÖSMARTY et al., 2021). Esse levantamento também permitiu observar, a partir das conclusões de alguns autores, que as infraestruturas cinzas podem trazer benefícios em um prazo menor de tempo do que se comparadas às infraestruturas naturais, que demandam um longo prazo para estabelecimento, embora estejam atreladas às primeiras outros desserviços ecossistêmicos (BOIX-FAYOS et al., 2020; EEKHOUT et al., 2020) e que os benefícios das infraestruturas cinzas são melhor compreendidos do que os benefícios das infraestruturas naturais (OMORI, 2021). Outros trabalhos concluem sobre prevalência ou prioridade dos benefícios promovidos pelas infraestruturas naturais em relação as infraestruturas cinzas (BOIX-FAYOS et al., 2020; EEKHOUT et al., 2020; WOJCIECHOWSKA et al., 2021).

Este levantamento demonstrou uma pequena quantidade de trabalhos que abordam a interação entre infraestruturas cinzas e naturais, sendo observado um aumento de publicações a partir do ano 2020, tendo sido fundamental a revisão desta pesquisa em maio de 2022 (bases Scopus e Scielo). Se aproximam às ideias defendidas por essa tese os conceitos apresentados por Vörösmarty et al. (2021), Omori (2021) e Boix-Fayos et al. (2020), ressaltando os conceitos defendidos pelo primeiro, embora sejam discutidos para temáticas e escalas diferentes da pretendida por essa tese.

## 4 ABORDAGEM ECOSSISTÊMICA INTERATIVA

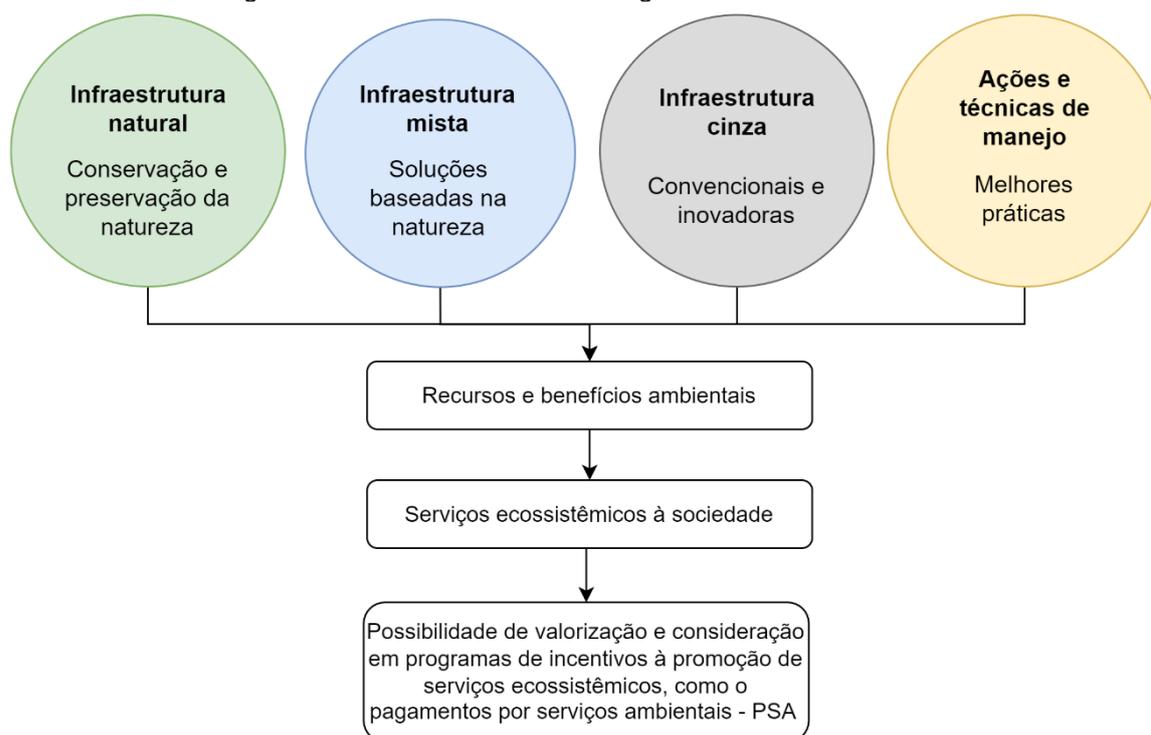
### 4.1 CONSTRUÇÃO DOS FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA ABORDAGEM ECOSSISTÊMICA INTERATIVA

Se a abordagem ecossistêmica é uma ponte entre o meio ambiente e o bem-estar humano, segundo CBD (2004) e MEA (2005), neste trabalho considera-se que a abordagem ecossistêmica interativa é uma ponte entre a tecnologia humana e o meio ambiente para equilíbrio mútuo por meio de infraestruturas naturais, mistas e cinzas, além de técnicas de manejo e ações mais adequadas. Neste quesito, os benefícios ambientais que decorrem de intervenções intencionais da sociedade na dinâmica dos ecossistemas, tais como as atividades humanas para a manutenção ou a recuperação dos componentes dos ecossistemas, definidos como “serviços ambientais” por Muradian et al. (2010), ou a utilização de tecnologias para a provisão de serviços não suportados pelo capital natural, fazem parte da abordagem ecossistêmica interativa e seus benefícios podem ser comparados com os serviços ecossistêmicos advindos do capital natural (similitudes). Essa abordagem enfatiza a contribuição humana para a manutenção ou ampliação do fluxo de bens e serviços ecossistêmicos por meio de infraestruturas e ações diversas.

Faz-se algumas distinções entre os termos correlatos à infraestrutura natural. Comumente encontramos na literatura os termos “soluções baseadas na natureza”, “infraestrutura natural”, “infraestrutura verde” e “infraestrutura azul-verde” como sinônimos ou agregados entre si (LAFORTEZZA et al., 2013; LOVELL; TAYLOR, 2013b; SEDDON et al., 2020b; VAN DEN BOSCH; ODE SANG, 2017b). Esses termos estão relacionados a técnicas e tecnologias que aplicam princípios básicos e funções da natureza, mas não são efetivamente “naturais”. Adota-se que essas técnicas são infraestruturas mistas onde o ser humano, por meio da tecnologia, apropria-se e reproduz funções naturais. São, literalmente, soluções baseadas na natureza. Para tanto, assume-se por infraestrutura natural as estruturas naturais conservadas ou preservadas, tais como as áreas de florestas naturais, áreas de preservação permanente no entorno de corpos d’água, parques e reservas naturais, ecossistemas em suas características originais ou semelhantes às originais (seja um campo, um pântano, um deserto etc.), comumente descrita na literatura como “capital natural” (COSTANZA et al., 1997; COSTANZA; DALY, 1992; DAILY et al., 2009; OUYANG et

al., 2016; VÖRÖSMARTY et al., 2021). Já as infraestruturas cinzas são aquelas que não utilizam componentes naturais e são pautadas no desenvolvimento de tecnologias, sejam elas convencionais ou inovadoras. A exemplo de infraestruturas cinzas convencionais, citam-se as barragens de acumulação e regulação hídrica, as obras de transposição de bacias hidrográficas, os sistemas de drenagem convencionais, as estações de tratamento de água e efluentes. Já para as infraestruturas cinzas inovadoras, pode-se citar os pavimentos permeáveis, novas tecnologias de tratamento de água, efluentes e ar, captações de água da chuva por meio de cisternas e superfícies reflexivas para o resfriamento das cidades. Nota-se que em alguns casos, na literatura, costuma-se enquadrar os pavimentos permeáveis e cisternas de água de chuva como soluções baseadas na natureza ou infraestruturas azul-verde. Considera-se que esses tipos de infraestruturas promovem serviços ecossistêmicos ao auxiliar no equilíbrio do ciclo hidrológico, retendo e armazenando água na bacia hidrográfica e reduzindo certa parcela de escoamento superficial que pode vir a causar desserviços (erosão, inundações, carreamento de poluição difusa), mas eles são efetivamente soluções de infraestruturas cinzas inovadoras e não naturais, podendo ser aplicadas em conjunto com infraestruturas mistas. A Figura 15 ilustra a ideia central da abordagem ecossistêmica interativa.

Figura 16 – Ideia central da abordagem ecossistêmica interativa



Fonte: elaboração própria.

É importante ressaltar que tanto as infraestruturas cinzas, quanto as mistas e naturais podem causar desserviços ecossistêmicos, sob o ponto de vista do benefício que se analisa ou se pretende. A exemplo disso, um ecossistema como as florestas do leste australiano pode desenvolver incêndios florestais naturalmente devido as suas características climáticas e ecológicas, embora mudanças climáticas globais possam fomentar sua intensidade (DUTTA; DAS; ARYAL, 2016; GILL, 1975; HUGHES, 2003). Esses eventos trazem impactos negativos sobre a qualidade do ar, da água e do solo, afetando significativamente a segurança da população e da economia: trata-se de um desserviço ecossistêmico natural. Da mesma maneira ao longo do tempo observou-se que as infraestruturas cinzas convencionais de drenagem urbana causam expressivos desserviços ecossistêmicos: inundações, degradação da qualidade dos rios, desequilíbrio no ciclo hidrológico e risco à vida e ao patrimônio humano (EEKHOUT et al., 2020; HOOVER; HOPTON, 2019; SHIFFLETT et al., 2019). As soluções em infraestrutura natural, mistas ou cinzas podem ser trabalhadas em conjunto para minimizar os desserviços e potencializar os serviços ecossistêmicos.

A importância de outras formas de capital além do natural para a realização efetiva do bem-estar ou benefício que se deseja a sociedade é afirmada por Tickner et al. (2017), Costanza et al. (2017), Guimarães et al. (2021), Omori (2021) e Vörösmarty et al. (2021). Neste quesito, entende-se que o desafio está em conciliar outras formas de capital ou infraestruturas de maneira a complementar e potencializar os benefícios advindos do capital natural objetivando os mesmos fins, que seria a provisão de serviços ecossistêmicos essenciais a sociedade. Para isso, todo o processo de planejamento e gestão pode ser realizado sob a ótica da abordagem ecossistêmica, de maneira a “imitar” os benefícios advindos do capital natural.

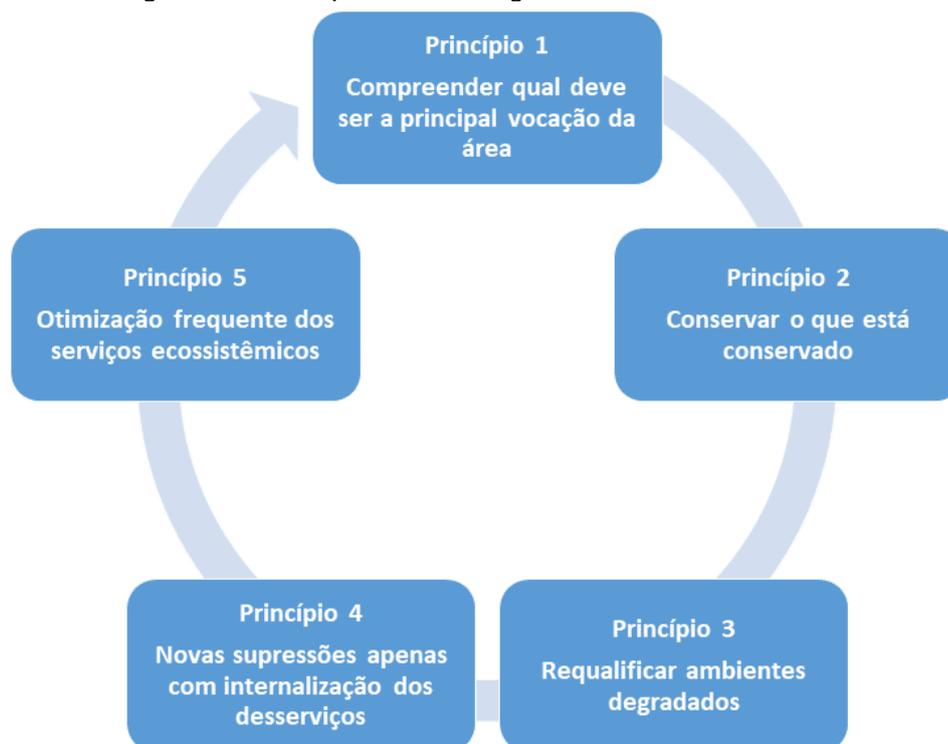
A abordagem ecossistêmica tradicional, tal como apresentada por CDB (2000; 2004) e posteriormente detalhada por MEA (2005a) sob o conceito de serviços ecossistêmicos, traz princípios que estão diretamente relacionados à gestão dos ecossistemas naturais, ressaltando que esses ambientes devem ser geridos pelos seus valores intrínsecos e pelos seus benefícios tangíveis e intangíveis para o ser humano, de forma justa e equitativa. Os princípios envolvem uma gestão descentralizada e participativa com todos os setores da sociedade, com o compromisso de se conhecer os efeitos que intervenções nos ecossistemas podem trazer para o sistema, além de ressaltar a necessidade de valorização como uma

maneira de internalizar custos e benefícios. Ou seja, geralmente aqueles que se beneficiam da conservação não pagam os custos associados à conservação e, da mesma forma, aqueles que geram custos ambientais (por exemplo, poluição) escapam da responsabilidade. O alinhamento de incentivos permite que aqueles que controlam o recurso se beneficiem e garante que aqueles que geram custos ambientais paguem (CDB, 2004).

Tendo como base conceitual primária a abordagem ecossistêmica conforme CDB (2004) e, considerando que as soluções em infraestrutura natural, mistas ou cinzas e melhores práticas podem ser trabalhadas em conjunto para minimizar os desserviços e potencializar os serviços ecossistêmicos, assume-se alguns princípios básicos da abordagem ecossistêmica interativa (Figura 17):

- **Princípio 1:** compreender qual deve ser a principal vocação da área de estudo e direcionar os esforços para esse intuito sem desconsiderar os usos secundários. Por exemplo, se uma área deve ter a principal vocação de conservação da biodiversidade, mas também a subsistência e qualidade de vida de povos tradicionais; ou se uma área tem o principal objetivo de provisão de água para abastecimento público, mas também a subsistência de agricultores familiares locais e a provisão de alimentos;
- **Princípio 2:** conservar o que está conservado;
- **Princípio 3:** requalificar os ambientes degradados por meio da renaturalização (quando possível), revitalização e recuperação ou compensar o que foi degradado por meio de infraestruturas naturais, mistas ou cinzas e melhores práticas de uso do solo;
- **Princípio 4:** o capital natural apenas pode ser suprimido caso o novo uso do solo ou infraestrutura compense os serviços ecossistêmicos perdidos e internalize os desserviços ecossistêmicos, seja por meio de infraestruturas naturais, mistas ou cinzas e ações mitigadoras ou compensatórias;
- **Princípio 5:** os serviços ecossistêmicos devem ser otimizados frequentemente por meio de estratégias de gestão e governança, incluindo a participação da população.

Figura 17 – Princípios da abordagem ecossistêmica interativa



Fonte: Elaboração própria.

Considerando que essa abordagem teórica-conceitual surgiu com a reflexão sobre a problemática que envolve os mananciais hídricos urbanos da região metropolitana de Curitiba, localizados em regiões periurbanas com um uso do solo diverso, desde áreas urbano-industriais, perpassando por áreas de agricultura familiar e extensiva até florestas naturais conservadas, observa-se que uma das prioridades está na conservação de infraestruturas naturais já existentes. De acordo com Vörösmarty et al. (2021), estima-se que os custos de engenharia são em média duas vezes mais caros do que a manutenção do capital natural para se atingir um nível de gerenciamento equivalente de ameaças à segurança hídrica. Este princípio está relacionado a uma gestão de fora para dentro da cidade, ao contrário do que é observado na evolução das cidades brasileiras: o crescimento da mancha urbana vai se espalhando em periferias desprovidas de controle e as infraestruturas (geralmente cinzas) vem em defasagem buscando solucionar e tratar problemas criados a priori, semelhante ao que é observado por Souza (2001) e Garcias, Sanches (2009) ao realizarem análises sobre a evolução do planejamento urbano de Curitiba e as vulnerabilidades socioambientais. Rios urbanos e mananciais são perdidos e descartados ao longo do tempo neste cenário convencional e a busca por recursos

passa a ser cada vez mais distante fisicamente e custosa financeiramente à sociedade (SCHIMALESKI, GARCIAS, 2020; SUDERSHA, 2007).

Conservar o que está conservado hoje é uma maneira de frear a degradação expansiva e proteger serviços ecossistêmicos essenciais para a atual e futuras gerações. Olhar para a periferia traz maiores possibilidades de implantação de infraestruturas mistas, baseadas nas características e funções da natureza, promovendo a oportunidade de uma maior resiliência uma vez que tais infraestruturas demandam maior disponibilidade de áreas livres para a sua implantação, em contrapartida se tornam mais custosas financeiramente e inviáveis tecnicamente em áreas densamente urbanizadas e impermeabilizadas (GUIMARÃES et al., 2021).

Da mesma maneira, se uma área não é apta ao desenvolvimento de infraestruturas naturais ou mistas, isso não significa que ela não possa desenvolver serviços ecossistêmicos (ou serviços similares). A abordagem ecossistêmica interativa sugere que as infraestruturas cinzas devem ser pensadas e planejadas sob o ponto de vista de sua capacidade de promoção de serviços similares aos ecossistêmicos, ou seja, a interação delas no ecossistema como um todo sendo promotoras de serviços e não de desserviços. Optou-se por chamar esses serviços de “ecoantrópicos”. Para isso deve-se ter claro o primeiro princípio, que se refere a garantia do objetivo social ou vocação principal da área de estudo, levando em conta os impactos que possam existir sobre os objetivos secundários. No caso dos mananciais hídricos urbanos a vocação principal dessas áreas deve ser a provisão de água em quantidade e qualidade necessária ao abastecimento público, levando ainda a consideração que outras atividades fundamentais e lícitas ocorrem nessa área, devendo também ser protegidas e controladas, tais como espaços para moradia, lazer, criação animal e cultivos agrícolas para produção de alimentos, em sua maioria para abastecimento dos mercados da própria metrópole.

Dessa maneira, sendo os mananciais superficiais periurbanos áreas destinadas à diferentes usos, embora instituídos para a sua vocação principal que é a provisão de água à cidade, observa-se uma tríade de demandas que devem ser equilibradas e otimizadas entre si, a fim de se atingir o máximo benefício social. No caso da região metropolitana de Curitiba, seus mananciais hídricos urbanos conciliam com as demandas para produção de alimentos e atividades agropecuárias em geral, além de espaços para moradia para uma cidade em constante expansão.

Havendo a perda ou a degradação do capital natural, o terceiro princípio vem novamente considerar a afirmação sobre o melhor custo-benefício de investimentos em capital natural do que infraestruturas de remediação. Neste momento observa-se a capacidade de requalificação ambiental das áreas degradadas, de maneira hierárquica, primando por sua renaturalização, revitalização ou recuperação (observar conceitos de Silva, 2017 na seção 3.2.3). Quando a requalificação ambiental não for possível e viável segundo seus aspectos sociais e econômicos, medidas devem ser adotadas para a compensação das perdas ambientais sob o objetivo de correção de desserviços e otimização do fluxo de serviços ecossistêmicos. Novas alterações no uso do solo que pressionem a integridade do capital natural e os serviços por ele promovidos devem ser analisadas sob o ponto de vista do equilíbrio ecossistêmico e devem considerar a internalização dos desserviços. Por fim, os serviços ecossistêmicos devem ser otimizados frequentemente a fim de se obter o maior benefício social, observando a possibilidade de aplicação de diferentes tipos de infraestrutura, ações e técnicas de manejo do solo.

#### 4.2 CONSTRUÇÃO DAS ETAPAS PRÁTICAS DA ABORDAGEM ECOSISTÊMICA INTERATIVA

Com base nos fundamentos teóricos apresentados anteriormente, neste capítulo apresenta-se a proposta de etapas práticas da abordagem ecossistêmica interativa com vistas a sua aplicação no planejamento de mananciais hídricos urbanos.

Optou-se pela análise e mapeamento do uso do solo como informação básica para desenvolvimento da abordagem ecossistêmica interativa. Ao invés de mapear todos os serviços ecossistêmicos presentes em uma área, o objetivo é mapear as áreas potenciais para desenvolvimento de serviços ecossistêmicos de interesse (promotores de serviços ecossistêmicos), que são a provisão e manutenção da qualidade da água em uma bacia de manancial. Esses serviços ecossistêmicos podem ser naturais ou antrópicos, ou seja, promovidos tanto por infraestruturas naturais como pelas infraestruturas mistas ou cinzas. A partir das classes de uso do solo, podem ser levantados os promotores de serviços ou desserviços ecossistêmicos e suas características são fundamentadas na literatura científica por meio da revisão teórica. A partir do acoplamento dessas informações tem-se o delineamento das

premissas básicas da abordagem ecossistêmica interativa, a qual pode ser aplicada à diferentes mananciais hídricos e detalhada às particularidades de cada área de estudo, tendo como resultado as diretrizes e ações para o manancial que podem ser expressas por meio de uma análise discursiva e uma representação ilustrativa por meio de figuras e mapa de diretrizes e ações. Dessa maneira, em sintonia com os princípios básicos apresentados conforme Figura 17, estabeleceu-se que a abordagem ecossistêmica interativa é desenvolvida em seis passos essenciais:

- **Passo 1** - Observação inicial sobre a área de estudo: qual a principal finalidade dessa unidade geográfica? Exemplos: (a) ser um manancial hídrico para abastecimento público, ou seja, que todos seus usos estejam comprometidos em respeitar e auxiliar na provisão e manutenção da qualidade da água; (b) ser uma área urbana de uso residencial e comercial, segura quanto à risco de desastres, limpa, que proporcione qualidade de vida à população.
- **Passo 2** – Seleção de serviço(s) ecossistêmico(s) para a abordagem ecossistêmica interativa, exemplos: (a) manutenção da qualidade da água e provisão de água; (b) controle de enchentes, manutenção da qualidade da água, do ar e do solo.
- **Passo 3** – Mapeamento do uso do solo e detalhamento dos planos diretores, ambientais e políticas relacionadas à área;
- **Passo 4** – Seleção dos atuais promotores de serviços ou desserviços ecossistêmicos correlatos aos diferentes usos do solo;
- **Passo 5** – Proposição de diretrizes e ações para melhoria ou criação de novos promotores de serviços ecossistêmicos: visões inovadoras;
- **Passo 6** – Ilustração e mapeamento da abordagem ecossistêmica interativa.

A abordagem ecossistêmica interativa deve ser desenvolvida e adaptada ao contexto da área de estudo, sendo que pressupõe um olhar sobre as funções e serviços ecossistêmicos como ponto de partida para interpretação da realidade ambiental local, utilizando-se do mesmo princípio para proposição de melhorias visando um objetivo específico, tal como a conservação de uma bacia hidrográfica que tem como a finalidade ser um manancial de abastecimento público de água. A partir

disso é possível selecionar os principais serviços ecossistêmicos necessários para o desenvolvimento da abordagem (serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade da água), sobre os quais deve recair atenção e esforços para proposição de alternativas para aprimorá-los. Provavelmente outros serviços ecossistêmicos também existirão, mesmo que não diretamente relacionados aos selecionados para o estudo. Outros esforços de planejamento e gestão podem buscar valorizá-los e internalizá-los, mesmo que neste momento o objetivo principal de desenvolvimento da abordagem ecossistêmica interativa esteja bem delineado.

O mapeamento do uso do solo pode ser complementado com constatações observadas em campo e em informações de outras fontes, tais como planos diretores, planos de manejo de unidades de conservação, planos de recursos hídricos, dados de monitoramento ambiental, entre outros.

Visando o desenvolvimento orientado da abordagem, propõe-se um quadro pode ser criado para facilitar a organização de ideias apresentando as características ou situações do presente como forças e fraquezas; já as situações ou características que podem ocorrer no futuro são denominadas como oportunidades e ameaças ao desenvolvimento da abordagem ecossistêmica interativa. As características e diagnóstico da área de estudo em relação a sua atual capacidade de promoção de serviços ou desserviços ecossistêmicos representam as forças e fraquezas do sistema. As possibilidades de aprimoramento da promoção dos serviços ecossistêmicos ou a tendência de continuidade ou criação de ações negativas sobre eles representam a análise das oportunidades e ameaças. Dessa maneira o objetivo final da abordagem ecossistêmica interativa é aproveitar as forças e internalizar as oportunidades para uma correção das fraquezas e um controle das ameaças. Essa etapa pode ser apresentada de maneira ilustrativa por meio do preenchimento de um quadro tendo como base a fundamentação das etapas práticas da abordagem ecossistêmica interativa (Quadro 5). Os resultados também podem ser expressos em um mapa da abordagem ecossistêmica interativa para o local de estudo.

Quadro 5 – Quadro proposto para levantamento das características atuais e futuras para desenvolvimento da abordagem ecossistêmica interativa

<p style="text-align: center;"><b>Forças</b></p> <p style="text-align: center;"><i>É o que se faz de bom (presente)</i></p> <p>Infraestruturas e ações que promovem serviços ecossistêmicos hoje na área de estudo e que merecem ser conservadas e aprimoradas</p>	<p style="text-align: center;"><b>Fraquezas</b></p> <p style="text-align: center;"><i>É o que se faz de ruim (presente)</i></p> <p>Infraestruturas e ações que representam elementos estressores sobre a promoção de serviços ecossistêmicos hoje na área de estudo e que necessitam ser revistos para a recuperação (restauração ou revitalização) ou compensação</p>
<p style="text-align: center;"><b>Oportunidades</b></p> <p style="text-align: center;"><i>É o que pode se fazer de bom (futuro)</i></p> <p>Infraestruturas e ações que promovem serviços ecossistêmicos que podem ser implementadas ou aprimoradas na área de estudo observando também características inovadoras</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ameaças</b></p> <p style="text-align: center;"><i>É o que pode se fazer de ruim (futuro)</i></p> <p>Infraestruturas e ações que poderão representar elementos estressores sobre a promoção de serviços ecossistêmicos na área de estudo e que necessitam ser compreendidos para o efetivo controle</p>

Fonte: elaboração própria.

Nas seções seguintes são apresentados mais detalhes sobre as etapas práticas da abordagem ecossistêmica interativa proposta.

#### 4.2.1 Mapeamento do uso do solo e caracterização do manancial

O mapeamento de uso do solo é uma técnica que busca levantar e classificar os diferentes usos e ocupações de uma unidade geográfica com apoio de ferramentas de geoprocessamento e apresentação de mapas temáticos. O mapeamento pode ser uma importante ferramenta pois o uso e ocupação do solo influenciam a qualidade e disponibilidade de água, devendo ser considerados na gestão integrada dos recursos hídricos e no planejamento de bacias hidrográficas (VEIGA, GUANDIQUE, NARDOCCI, 2019). Considera-se que o mapeamento do uso do solo é uma boa ferramenta para compreensão da dinâmica de usos que interferem na promoção de serviços ecossistêmicos, sendo acessível ou de baixo custo para elaboração. A literatura científica apresenta diversos esforços de correlação entre classes de uso do solo e promoção de serviços ecossistêmicos (BURKHARD et al., 2012; CROSSMAN et al., 2013; MAES et al., 2012; MARTNEZ-HARMS; BALVANERA, 2012; NAIDOO et al., 2008).

É possível encontrar publicações de mapeamentos de uso do solo na literatura, em documentos oficiais ou junto à órgãos gestores. Mas, quando não há disponibilidade de material ou quando este possui uma baixa qualidade ou está desatualizado para o estudo que se deseja fazer, recomenda-se o desenvolvimento do mapeamento a partir do método de classificação supervisionada de imagens de satélite utilizando ferramentas de geoprocessamento. De acordo com Veiga, Guandique e Nardocci (2019), esse tipo de ferramenta de sensoriamento remoto são eficientes, rápidas e de baixo custo para a classificação do uso do solo em bacias hidrográficas. Dessa maneira o mapa de uso do solo como recurso básico apoia o objetivo da abordagem ecossistêmica interativa em ser de fácil compreensão para replicabilidade em qualquer área de estudo.

A classificação supervisionada de imagens de satélite por meio de softwares de geoprocessamento consiste basicamente na interpretação de uma imagem e definição de algumas amostras de classe de uso. Por meio do banco de dados de amostras definidas manualmente, o software interpreta o conjunto de *pixel* da totalidade da imagem, gerando um arquivo de imagem tipo “raster” com as diferentes classes de uso. A Figura 18 demonstra um exemplo de imagem de satélite pré-processada e apresentada em falsa-cor, de maneira a facilitar a interpretação e coletas de amostras feitas manualmente.

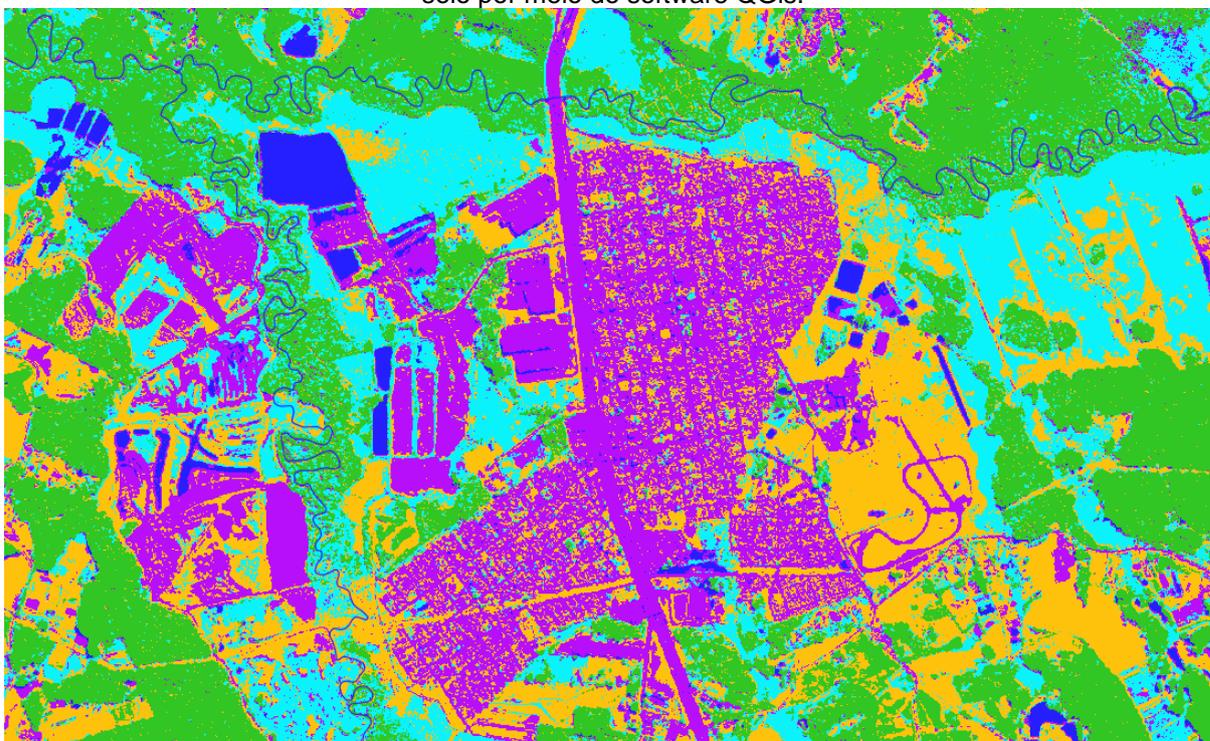
Figura 18 – Exemplo de coleta de amostras por meio de interpretação das classes de uso do solo



Legenda: as amostras representam cinco classes de uso, sendo elas 1 – água; 2 – vegetação nativa; 3 – área úmida; 4 – agricultura; 5 – área urbana/ construída e solo descoberto. Fonte: elaboração própria, com base em dados de INPE (2022).

No exemplo apresentado na Figura 18 foram observadas cinco classes de uso do solo, mas estas classes devem ser definidas de acordo com a análise específica de cada área de estudo. Por exemplo, TEEB (2018) apresentou oito classes de uso do solo para o estudo aplicado realizado com vistas ao mapeamento posterior dos serviços ecossistêmicos, sendo elas: áreas urbano-industriais; áreas urbanizadas, agricultura, pastagem, floresta, áreas úmidas, mangue, recursos hídricos e água salgada. O mapeamento deve ser feito correspondendo às especificidades de cada local e visitas a campo podem ser necessárias para familiarização e compreensão com as características de uso e ocupação do solo, a fim de se obter melhores amostras para o mapeamento. Após o processamento da imagem a partir da seleção supervisionada de amostras de uso e ocupação do solo, o software de geoprocessamento apresentará um mapa de classificação que poderá ser editado para apresentação posterior em um mapa temático. A Figura 19 apresenta um exemplo de classificação da mesma área de amostras definidas na Figura 18.

Figura 19 - Exemplo de resultado da classificação supervisionada das classes de uso e ocupação do solo por meio do software QGIS.



Legenda: 1 – Em azul escuro, água; 2 – em verde, vegetação; 3 – em azul ciano, área úmida; 4 – em amarelo, agricultura e campos; 6 – em roxo, área urbana/ construída e solo descoberto. Fonte: elaboração própria, com base em dados de INPE (2022) e software QGIS 3.22.6.

Alguns erros são inerentes à metodologia de classificação supervisionada, mas em uma escala de análise de bacia hidrográfica urbana ou regional as limitações são mínimas, sendo uma importante representação gráfica para interpretação das características de uso e ocupação do solo. A caracterização da área de estudo não deve se ater apenas ao mapeamento de uso do solo, que auxilia apenas em uma representação gráfica. Deve, posteriormente, ser aprofundada por meio de levantamentos diversos de dados e informações que estiverem disponíveis sobre a área de estudo.

#### **4.2.1 Definição das relações causais entre uso do solo e promotores de serviços ecossistêmicos hídricos**

Uma vez que a abordagem ecossistêmica interativa tem o objetivo de observar os promotores de serviços ecossistêmicos pré-selecionados e de interesse, uma peculiaridade da análise é que, ao invés de se relacionar os usos do solo com a promoção de serviços ecossistêmicos, será relacionado o uso do solo com os promotores dos serviços ecossistêmicos de interesse, tendo como base a utilização de infraestruturas naturais, mistas e cinzas, além de ações e técnicas de manejo. Este trabalho está considerando um recorte sobre a principal função de uma área de manancial superficial, que é o fornecimento de água em quantidade e qualidade, para tanto será realizado o levantamento e análise dos promotores de serviços ecossistêmicos diretamente relacionados aos recursos hídricos, sendo eles:

- I. Provisão de água (quantidade);
- II. Purificação da água (qualidade);
- III. Controle da erosão.
- IV. Controle de inundações;

Dentre esses quatro serviços ecossistêmicos listados anteriormente, os dois primeiros são de principal interesse da análise para o recorte de um manancial hídrico urbano, embora todos estejam intrinsecamente relacionados entre si. O serviço ecossistêmico de **provisão de água** é um serviço relacionado à quantidade de água disponível que é produzida na área estudada, ou seja, é um serviço de provisão definido como um benefício ou serviço final. A provisão de água pode ser afetada por eventos climáticos naturais e cíclicos ou pelas mudanças climáticas globais, fugindo

do controle da escala local ou regional da bacia hidrográfica. Mas, também pode estar relacionada ao uso do solo e a capacidade de armazenamento de água no solo e recarga de aquíferos, remetendo às alterações no ciclo hidrológico natural. Neste ponto, as técnicas de gestão adotadas localmente podem evitar ou minimizar a perda dos recursos hídricos em questão de quantidade. A conservação de vegetação nas áreas de cabeceiras dos rios e nascentes e o aumento de áreas permeáveis ou técnicas de manejo adequadas do uso do solo tendem a reduzir as vazões de pico e a velocidade de escoamento da água para fora da bacia hidrográfica, fazendo que a água fique armazenada na área hidrográfica por mais tempo, auxiliando na manutenção da perenidade dos cursos hídricos. O controle sobre os usos múltiplos da água também é um fator importante para a garantia da perenidade dos recursos hídricos, tendo como instrumento de governança o ato administrativo denominado “outorga”, estabelecido do Brasil por meio da Política Nacional de Recursos Hídricos.

O serviço ecossistêmico de **purificação de água** está relacionado à manutenção da qualidade da água, ou seja, é um serviço de regulação definido como um benefício intermediário (purificação da água para complementar o serviço de provisão). Esse serviço também pode ser afetado pelas mudanças climáticas globais, mas, diferentemente do serviço de provisão de água (quantidade), está sob maior controle das ações de gestão e governança locais, sendo afetado pelas deficiências da integração entre a gestão territorial e das águas. A perda do serviço ecossistêmico de purificação da água tem levado ao descarte de diversos mananciais hídricos urbanos, a exemplo do observado na região metropolitana de Curitiba, onde áreas de mananciais e suas captações têm sido desativadas devido a um processo de urbanização crescente e degradante do ponto de vista ambiental (GARCIAS, SANCHES, 2009). Em áreas de moradia periféricas que se expandem, a ausência de infraestruturas planejadas culmina na poluição dos corpos d'água por esgotos domésticos e resíduos sólidos, além de outras fontes difusas de poluição carreados por um sistema de drenagem inexistente ou inadequado do ponto de vista ecossistêmico. O manejo inadequado de áreas agrícolas também afeta diretamente a qualidade das águas devido aos processos erosivos e ao carreamento de nutrientes e agroquímicos aos corpos hídricos.

Dessa maneira, para um manancial de abastecimento público, esses dois serviços ecossistêmicos essenciais remetem à lógica de que além de termos água em quantidade, devemos tê-la em qualidade. Diversos mananciais podem possuir água,

mas perdem sua função por apresentar uma péssima qualidade. O contrário também pode ser possível: um manancial de boa qualidade pode sofrer com a diminuição da disponibilidade hídrica. Pode-se ter ambas as perdas acontecendo também.

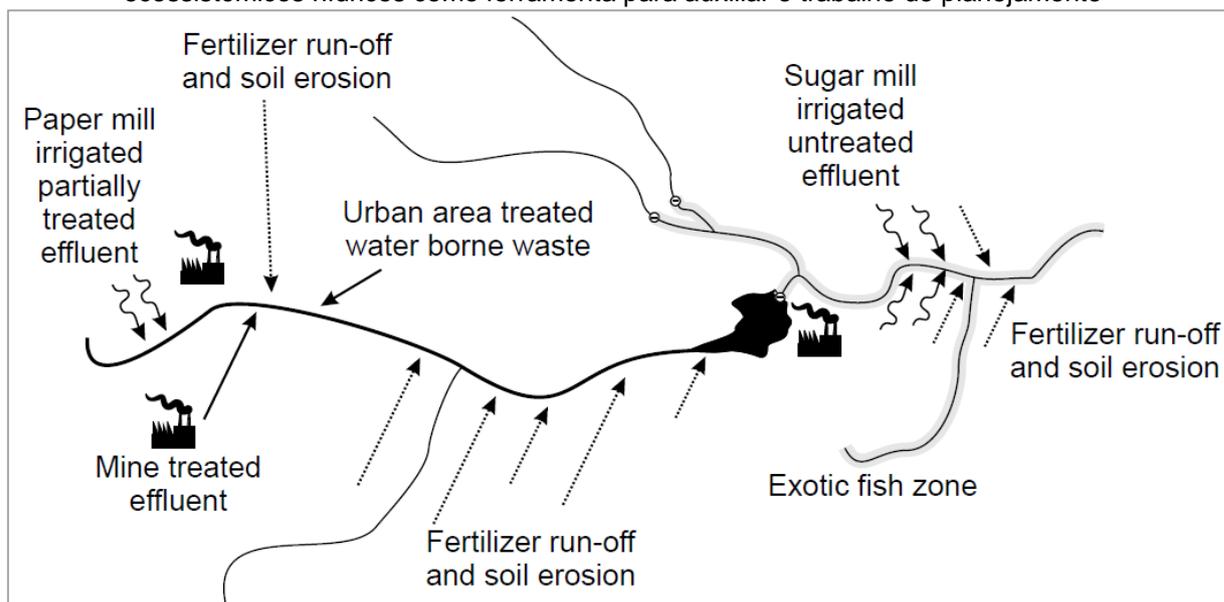
Tendo claro os serviços ecossistêmicos de interesse, cujas ações se voltarão para fortalecê-los e promovê-los, o planejamento volta-se para observar quais ações, manejos de usos do solo e infraestruturas naturais, mistas e cinzas podem promovê-los. Optou-se por chamá-los de “promotores de serviços ecossistêmicos”. Dessa maneira, o ponto principal da abordagem não está em identificar serviços ecossistêmicos, mas sim identificar quais são os promotores dos serviços previamente definidos: provisão e purificação de água.

Alguns exemplos de promotores dos serviços de provisão e purificação da água são: conservação de vegetação nativa, preservação de vegetação ciliar, conservação de áreas úmidas, agricultura orgânica, técnicas de manejo sustentável do solo na agricultura, adoção de componentes da drenagem sustentável, estações de tratamento de água e esgoto. Ou seja, os promotores de serviços ecossistêmicos podem ser naturais e mistos (prestados pela natureza e pelo manejo humano para aprimorá-la) ou antrópicos (prestados pelas ações humanas e suas infraestruturas cinzas).

Buscando espacializar as informações para os processos de planejamento e gestão dos mananciais hídricos, esses promotores de serviços ecossistêmicos podem ser correlacionados às classes de uso do solo. Da mesma maneira como diferentes métodos buscam identificar uma variedade de serviços ecossistêmicos promovidos de acordo com as classes de uso do solo, este modelo propõe identificar os potenciais promotores de serviços ecossistêmicos sabendo-se previamente que o interesse está na provisão e purificação da água.

Um mapa temático e ilustrativo pode ser gerado para a área de estudo indicando os potenciais estressores sobre diferentes tipos de serviços ecossistêmicos. O'Brien e Wepener (2012) sugerem uma maneira gráfica de apresentar a relação entre elementos de uso e cobertura do solo com potenciais fontes estressoras sobre serviços ecossistêmicos hídricos a fim de se selecionar subáreas de planejamento, a qual pode ser adaptada posteriormente para apresentação de potencial para desenvolvimento de promotores de serviços ecossistêmicos.

Figura 20 – Exemplo de representação gráfica de potenciais estressores sobre serviços ecossistêmicos hídricos como ferramenta para auxiliar o trabalho de planejamento



Fonte: O'Brien e Wepener (2012).

O diagnóstico local indicará se os promotores de serviços ecossistêmicos estão sendo desenvolvidos e onde os esforços deverão ser colocados para aprimoramento e obtenção de melhores resultados. Periodicamente a lista de promotores pode ser revisada e integrada a abordagem visando apoiar o processo de gestão, por exemplo: novas tecnologias de drenagem sustentável ou técnicas de agricultura sustentável podem ser desenvolvidas ou motivadas por alguma nova política específica, sendo aplicáveis a área de estudo visando a promoção dos serviços ecossistêmicos de provisão e purificação da água. Outro ponto importante da abordagem remete ao fato de que outros serviços ecossistêmicos não diretamente relacionados à provisão e purificação da água serão desenvolvidos pelos mesmos promotores, embora o foco em uma bacia de manancial seja garantir os serviços principais. Dessa maneira os demais serviços/benefícios devem ser considerados como externalidades positivas e podem, sob outros esforços de gestão, ser valorizados buscando a sua internalização.

#### 4.2.2 Proposição de fortalecimento dos promotores de serviços ecossistêmicos

Conhecendo-se as relações causais entre os diferentes usos e cobertura do solo com a promoção de serviços ou desserviços ecossistêmicos, propostas de criação e fortalecimento de promotores de serviços ecossistêmicos podem ser

elencadas, tomando como base soluções de infraestruturas naturais, mistas e cinzas, além de ações e técnicas de manejo. Nesta etapa, por exemplo, serão identificadas áreas que podem ser mais propícias ao desenvolvimento de serviços ecossistêmicos naturais e implantação de infraestruturas naturais (áreas de conservação, vegetação nativa, áreas úmidas) e outras áreas mais propícias ao desenvolvimento de serviços ecossistêmicos antrópicos e implantação de infraestruturas mistas ou cinzas (áreas urbanas, áreas de agricultura). Os resultados podem ser expressos conforme apresentado anteriormente no Quadro 5.

## 5 APLICAÇÃO E DISCUSSÃO DA ABORDAGEM DESENVOLVIDA

Neste capítulo será apresentada a aplicação da abordagem desenvolvida à área de estudo escolhida: bacia hidrográfica do rio Miringuava, manancial localizado na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), no estado do Paraná, região sul brasileira.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MIRINGUAVA

A bacia hidrográfica do rio Miringuava representa um recorte dos mananciais da RMC. Essa bacia carrega em si características e tendências que se repetem na maior parte das bacias de mananciais da RMC, sendo em algumas mais intensificadas do que as outras:

- localização em região periurbana, de transição entre meio rural e urbano/residencial;
- apresenta contínua pressão da expansão urbana e desmembramento de terras em chácaras de lazer sobre suas áreas até então conservadas ou de usos rurais;
- apresenta áreas cultiváveis composta principalmente de produção hortifrutigranjeira para abastecimento dos mercados consumidores da cidade, compondo o “cinturão verde” da RMC;
- possui diferentes usos da água (abastecimento público, industrial, irrigação, dessedentação de animais).

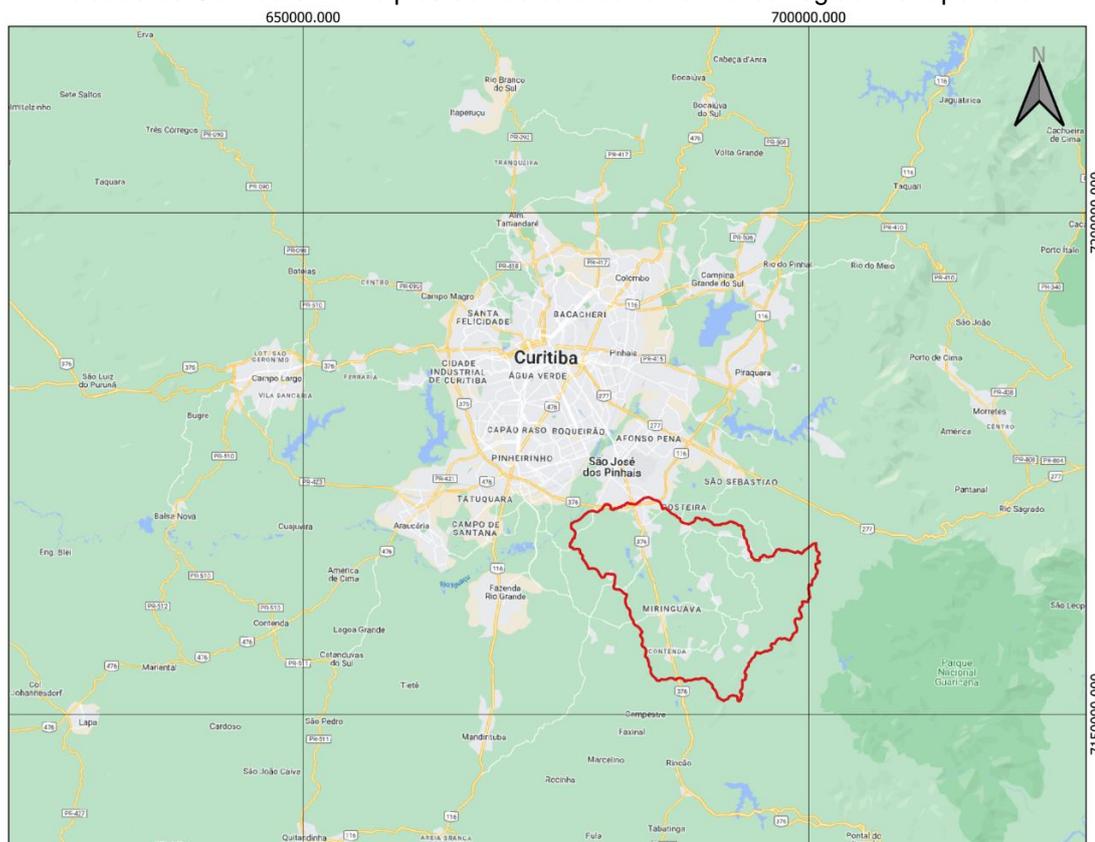
Uma peculiaridade da bacia de manancial do rio Miringuava em relação à outros importantes mananciais da RMC, tais como os sistemas Passaúna, Itaquí e Iraí, é a presença de significativas áreas conservadas, o que representa uma importante área para controle ambiental de maneira a se evitar a degradação pelos mesmos motivos ocorridos em outras bacias de mananciais, tal como o sistema Palmital, descartado devido à piora contínua da qualidade da água motivada pela urbanização informal (SCHIMALESKI, 2017; SCHIMALESKI, GARCÍAS, 2020). Dessa maneira o manancial Miringuava é uma área representativa para o desenvolvimento da abordagem ecossistêmica interativa.

Além das características citadas anteriormente, que podem se repetir em similitude em diferentes mananciais periurbanos das grandes cidades brasileiras, a RMC também apresenta uma limitação geográfica que potencializa seu risco à crise hídrica: localizada no chamado Primeiro Planalto Paranaense (Planalto Cristalino Atlântico Paranaense), a metrópole está ao lado da cadeia de montanhas da Serra do Mar, próxima às nascentes dos principais rios da bacia do Alto Iguaçu e Ribeira. Ou seja, naturalmente a disponibilidade hídrica da região é reduzida pelas pequenas áreas hidrográficas dos principais mananciais, os quais, como citado anteriormente, também sofrem com pressões comumente observadas nas grandes metrópoles.

### **5.1.1 Localização**

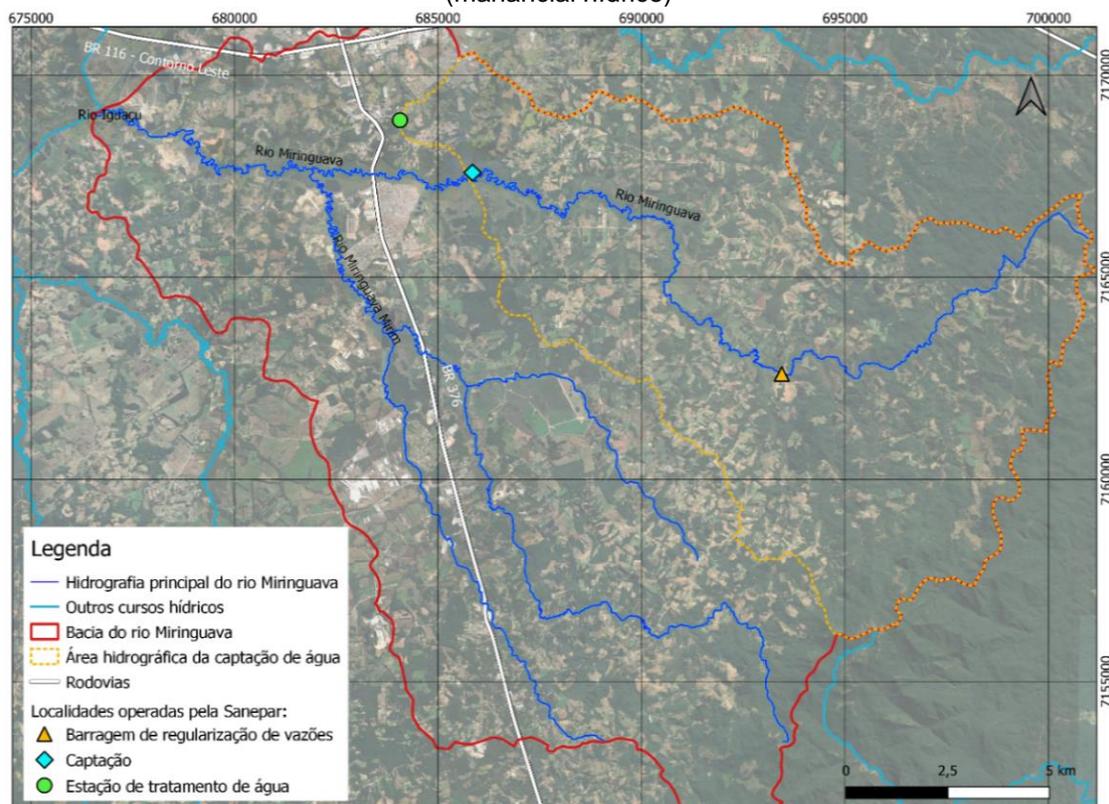
A bacia hidrográfica do rio Miringuava está localizada no sudeste da RMC, no município de São José dos Pinhais (Figura 21). Suas nascentes de água encontram-se na Serra do Mar paranaense, formando quatro canais de deflúvio principais: rio Miringuava, rio Miringuava Mirim, rio Sabóia e rio Contenda, todos confluindo ao rio Miringuava, cuja foz está no rio Iguaçu a uma distância aproximada de 35 km entre a nascente principal (altitude de 965 m) e a foz (altitude de 870 m). A área total da bacia hidrográfica é de 277,3 km<sup>2</sup>, o que equivale mais da metade (64%) da área do município de Curitiba, por exemplo. Parte dessa bacia hidrográfica é considerada como área de manancial de abastecimento de água da RMC, abrangendo o rio Miringuava de sua nascente até a captação de água pela Companhia de Saneamento do Paraná, antes da confluência do rio Miringuava Mirim, em uma área de 115,6 km<sup>2</sup> que representa 42% da área total da bacia do rio Miringuava (Figura 21).

Figura 21 - Localização da bacia hidrográfica do rio Minguava (polígono vermelho) em relação à cidade de Curitiba e municípios do núcleo urbano central da região metropolitana.



Fonte: Elaboração própria a partir de dados hidrográficos de SUDERHSA (2000).

Figura 22 – Área hidrográfica da bacia do rio Minguava e área de contribuição à captação d'água (manancial hídrico)



Fonte: elaboração própria a partir de dados hidrográficos de SUDERHSA (2000).

### 5.1.2 Aspectos legais e políticas de gestão

A elaboração de políticas para gestão dos mananciais superficiais na área de estudo é uma atribuição do Conselho Gestor dos Mananciais da RMC (CGRMC), o qual faz parte do Sistema Integrado de Proteção aos Mananciais da RMC e tem como objetivos, de acordo com a Lei n. 12.248/1998 (PARANÁ, 1998):

I - assegurar as condições essenciais à recuperação e preservação dos mananciais para o abastecimento público;

II - integrar as ações dos vários órgãos e esferas do poder público estadual, municipal e iniciativas de agentes privados;

III - compatibilizar ações de proteção ao meio ambiente e de preservação de mananciais de abastecimento público com política de uso e ocupação do solo e com o desenvolvimento socioeconômico, sem prejuízo dos demais usos múltiplos;

IV - empreender as ações de planejamento e gestão das bacias hidrográficas de mananciais segundo preceitos de descentralização e participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades;

V - propiciar a instalação de instrumentos de gestão de recursos hídricos, preconizados pela Lei Federal nº 9.433/97, no âmbito dos mananciais da Região Metropolitana de Curitiba”.

Ou seja, este conselho busca fazer a integração entre as políticas de desenvolvimento territorial e a gestão de recursos hídricos essenciais para abastecimento público da metrópole e regiões periurbanas. Dentre alguns instrumentos de gestão aplicados aos mananciais da RMC estão as definições das Unidades Territoriais de Planejamento (UTP) e as Áreas de Proteção Ambiental (APA) com seus respectivos zoneamentos territoriais e legislação própria. As UTP são espaços territoriais que sofrem pressão por ocupação urbana nas áreas de interesse de proteção de mananciais, sendo que sua finalidade é propiciar uma transição entre áreas urbanas já consolidadas e as áreas de maior restrição ambiental, tal como as APA e o meio rural (PARANÁ, 2022). Em toda a região de interesse de mananciais da RMC existem cinco UTP instituídas e nove APA, nenhuma delas compõe a área de manancial do rio Miringuava, ou seja, esses instrumentos de gestão não são utilizados para controle da bacia hidrográfica em estudo uma vez que a área de manancial ainda se encontra conservada, sem a presença de núcleos urbanos informais e consolidados significativos.

O decreto estadual 10.499/2022 estabelece critérios de “capacidade de suporte do território”, que é o limite de densidade populacional no manancial superficial visando a manutenção da qualidade da água de abastecimento público, sendo que os municípios devem adequar seus planos diretores para atender a capacidade de suporte do território. Dentre outras diretrizes, ressalta-se a obrigatoriedade de infraestrutura sanitária para viabilização de novos empreendimentos habitacionais, desmembramentos, loteamentos e condomínios localizados em áreas de mananciais. Nessas áreas, todos os empreendimentos em forma de condomínio ou parcelamento do solo devem adotar manejo de águas pluviais com a premissa de não ampliação da cheia natural, ou seja, medidas que evitem a impermeabilização do solo e reduzam o escoamento superficial (diferentemente das infraestruturas cinzas convencionais de drenagem), tal como já recomendado em 2016 pelo CGMRC: “adoção de medidas não estruturais de controle de cheias a ser consideradas nos planos diretores e de drenagem dos municípios integrantes da RMC” (CGMRC, 2016); devem reduzir o aporte de cargas poluidoras por meio de tratamento dos esgotos e adequar o sistema de coleta regular de resíduos sólidos; devem adequar o sistema de circulação de pedestres, veículos e promover o tratamento paisagístico; além de recuperar áreas erodidas, promover a estabilização de taludes e revegetar áreas de preservação (PARANÁ, 2022).

O rio Miringuava é considerado um manancial superficial operante na RMC conforme Decreto Estadual 4.435/2016, sendo que sua bacia compõe uma “área de interesse de manancial de abastecimento público da RMC”, onde deve ser observado o controle de uso e ocupação do solo de forma a garantir as condições de qualidade da água compatíveis com o abastecimento público. A área de manancial é compreendida pela área hidrográfica a montante (rio acima) do ponto de captação da operadora do sistema de saneamento regional, a Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar), área a qual é utilizada para estudo neste trabalho (Figura 22). A população limite nessa área de manancial deve ser de 36.945 habitantes de acordo com o decreto estadual n. 10.499/2022.

Ainda de acordo com o Decreto estadual n. 10.499/2022, a bacia do rio Miringuava apresenta uma vazão hídrica mínima de permanência (Q95 – média de vazões mínimas que ocorreram em pelo menos 95% do tempo monitorado) no ponto de captação de 586,9 litros por segundo ou 2.112,84 metros cúbicos de água por hora (PARANÁ, 2022). O Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água Integrado

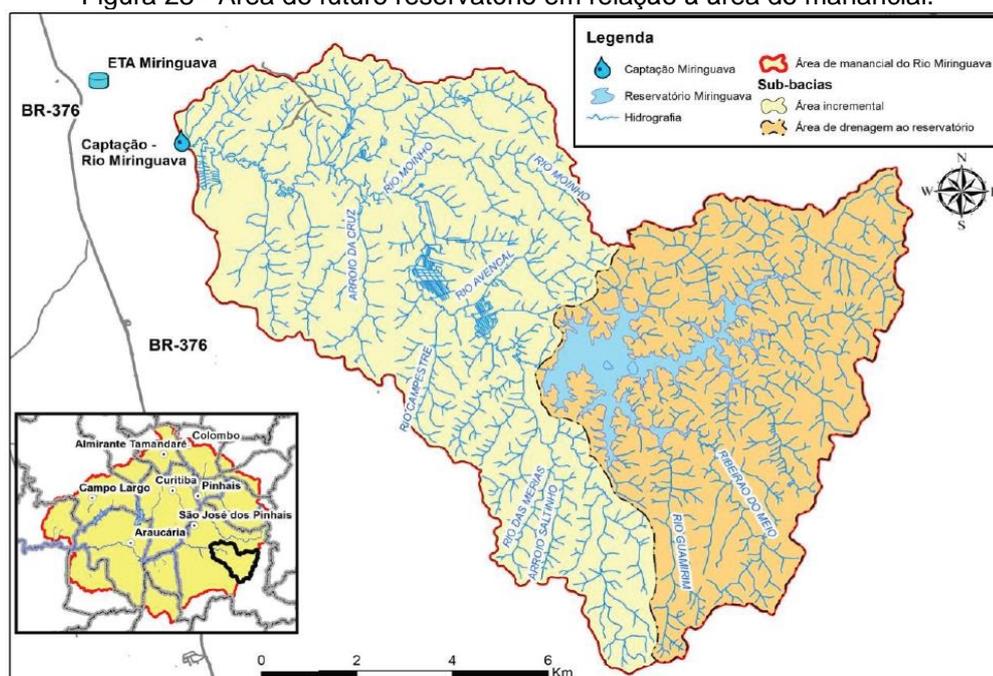
de Curitiba e Região Metropolitana (SAIC) cita que o sistema de produção e tratamento Miringuava possui uma capacidade de produção de 900,00 litros por segundo (3.240 metros cúbicos de água por hora), sendo limitado a 500,00 litros por segundo em situações de estiagem (SANEPAR, 2013), o que em comparação com a vazão mínima de permanência demonstra certa pressão sobre o recurso hídrico. Uma barragem com a finalidade de regularização de vazão vem sendo construída a montante da captação, na região do alto rio Miringuava, pela operadora do sistema de abastecimento público, Sanepar. Dessa maneira, a Sanepar detém uma outorga prévia para captação futura de 2.000,00 litros por segundo (7.200,00 metros cúbicos de água por hora), conforme Portaria de Outorga Prévia n. 900/2020 do Instituto Água e Terra (IAT, 2022), representando um significativo acréscimo de disponibilidade hídrica a ser captada constantemente devido à regularização de vazões na bacia hidrográfica por uma infraestrutura cinza que vem sendo implantada: a barragem. Para finalidades de comparação, a maior unidade de produção de água da RMC, que compõe o sistema SAIC, o sistema Iguazu, possui capacidade para 3.300,00 litros por segundo (11.880,00 metros cúbicos de água por hora) (SANEPAR, 2013).

O Plano Diretor do SAIC foi publicado no ano de 2013, com um horizonte de planejamento para 2040, traz um enfoque para a descrição das infraestruturas de engenharia que compõe o sistema de tratamento e abastecimento de água, tais como as diversas barragens construídas para regularização de vazões. Basicamente todos os subsistemas de mananciais superficiais que compõe o SAIC apresentam estações de tratamento de água com ciclo completo (floculação, decantação, filtração, fluoretação e desinfecção), incluindo o Miringuava. Cita-se que o sistema Miringuava pode ficar restringido em situações de estiagem, o que sobrecarrega os demais subsistemas do SAIC. Em especial, um fator chama a atenção ao longo do plano, que é a citação de bacias hidrográficas que podem perder sua qualidade ao longo do tempo e podem ser desconsiderados das áreas de mananciais, além disso, a previsão de mananciais mais distantes que, pelo custo de infraestruturas, deverão ser considerados apenas em situações de esgotamento dos demais subsistemas. Dessa maneira o plano é desenvolvido observando alternativas de expansão do sistema a fim de corrigir sobrecargas previstas no SAIC, sem considerar ou citar oportunidades de recuperação de serviços ecossistêmicos como alternativas à resiliência do sistema. Em relação ao subsistema Miringuava, é considerado relativamente próximo ao centro consumidor, sendo um manancial estratégico para o abastecimento do município de

São José dos Pinhais e parte da região metropolitana. O plano previa a conclusão da construção da barragem no ano de 2016, com início de operação em 2017.

Decorrente da construção da barragem de regularização de vazão no rio Miringuava ainda em andamento na data que este trabalho foi revisado (agosto de 2022), foi divulgado pela empresa responsável, Sanepar, e pelo órgão ambiental do estado, Instituto Água e Terra (IAT), as reuniões com a sociedade para discussão do Plano Ambiental de Conservação e Uso do Entorno do Reservatório Artificial da Barragem do Miringuava (SANEPAR, 2022). Por meio deste plano é proposta a criação da área de proteção ambiental (APA) do Miringuava, com elaboração do respectivo zoneamento ecológico econômico (ZEE) e plano de uso e conservação das águas e entorno do reservatório para abastecimento público (PACUERA) (SANEPAR, SOCIEDADE DAS ÁGUAS, 2020). Observa-se que essa proposta de plano apresenta o ZEE e sugestão de criação de APA englobando apenas área a montante da barragem, sem considerar o restante do trecho de contribuição a jusante até o ponto de captação de água ao sistema de tratamento e abastecimento público. Conforme a referida proposta de plano, a barragem inundará uma área de até 4,80 quilômetros quadrados em uma situação de cheia máxima provável. A Figura 23 apresenta a projeção da área a ser inundada pela construção da barragem na região do alto rio Miringuava, acima do ponto de localização da barragem.

Figura 23 - Área do futuro reservatório em relação à área do manancial.



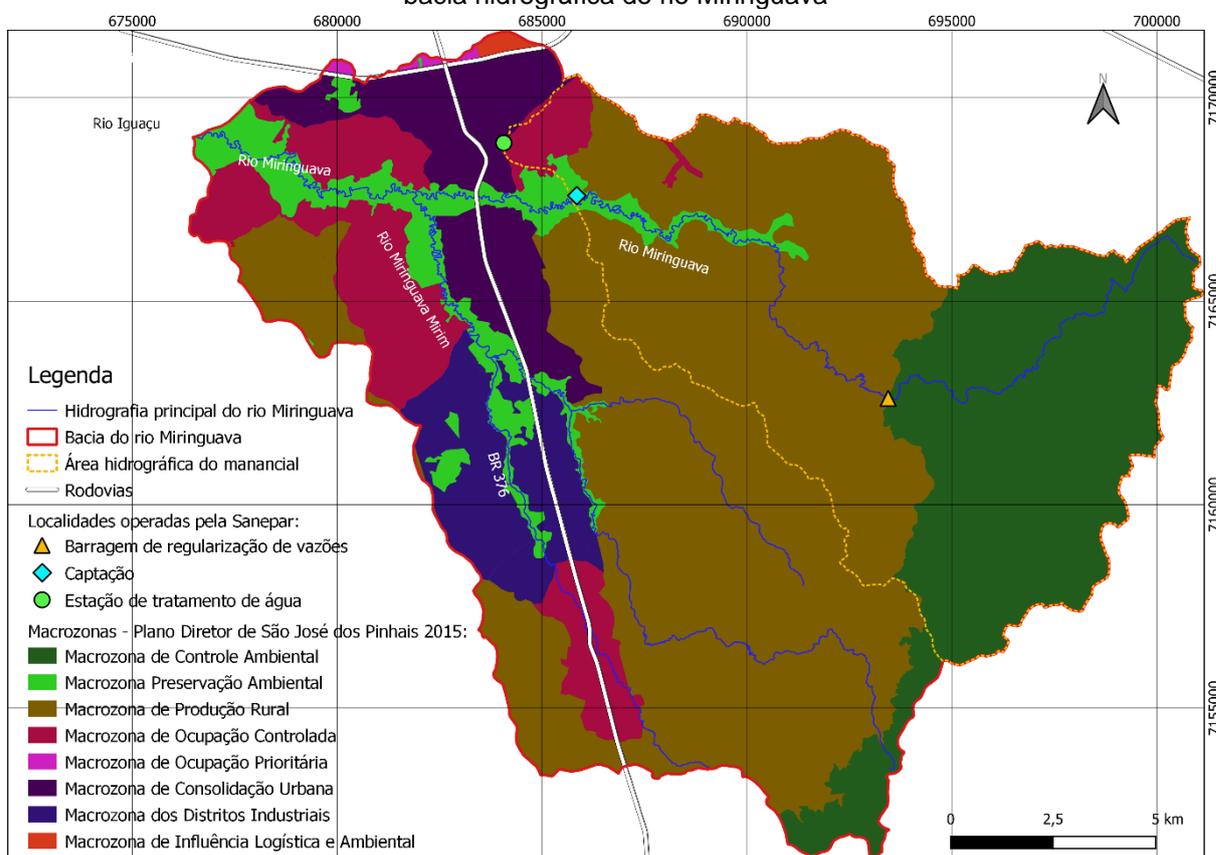
Fonte: SEMMA/SJP (2021).

O atual plano diretor do município de São José dos Pinhais, instituído pela Lei Complementar n. 100/2015 e o respectivo zoneamento de uso e ocupação do solo, instituído pela lei complementar n. 107/2016, estabelecem algumas macrozonas que compõe a bacia hidrográfica do rio Miringuava e sub-bacia referente a área do manancial (Figura 24). As macrozonas contidas na área de contribuição ao ponto de captação para abastecimento público (área de manancial) são:

- I. Macrozona de Controle Ambiental, compondo a área hidrográfica entre a região de nascentes do Miringuava até o ponto de intervenção pela barragem de regularização de vazões, onde está prevista a futura Área de Proteção Ambiental - APA do Miringuava, tendo como objetivos a preservação dos recursos ambientais e a biodiversidade; o fomento de atividades de pesquisa, ecoturismo e educação ambiental; proteção e restauração de vegetação nativa e dos mananciais; promoção de atividades rurais compatíveis com a proteção ambiental; estímulo a atividades turísticas que valorizem os atributos naturais, históricos ou culturais; preservação da qualidade de vida e patrimônio socioambiental (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2015);
- II. Macrozona de Produção Rural, compondo o restante da bacia a jusante da barragem, estendendo-se até encontrar o limite com as áreas urbanas; tem como objetivo o desenvolvimento rural sustentável, incluindo o estímulo à agricultura familiar, agroindústria, mineração, turismo e lazer compatíveis com a preservação ambiental; além disso, qualificar assentamentos habitacionais de antigas comunidades com acesso facilitado a equipamentos e serviços públicos; promover a adequação de estradas municipais e implantação de corredor metropolitano (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2015);
- III. Macrozona de Preservação Ambiental, compondo corredores lineares no entorno do rio Miringuava a jusante da barragem até a confluência e foz no rio Iguaçu, compondo áreas que são impróprias para ocupação urbana geralmente com áreas úmidas (solo hidromórfico) e planícies de inundação; essa macrozona tem o objetivo de preservar os cursos d'água, as áreas de matas e paisagens significativas (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2015);

- IV. Macrozona de ocupação controlada, referente aos limites do núcleo de ocupação urbana do vilarejo da Colônia Murici, denominado como “Zona da Colônia Murici (ZCM)” e à área urbana do bairro Del Rey, próximo da captação e estação de tratamento de água do Miringuava. Este perímetro tem o objetivo de ordenar a ocupação do solo de forma a compatibilizar atividades turísticas e ocupações residenciais de população tradicional, em atendimento também aos parâmetros referentes à área de manancial (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2015; SÃO JOSÉ DOS PINHAIS, 2016).

Figura 24 - Macrozonas conforme Plano Diretor do município de São José dos Pinhais incluídas na bacia hidrográfica do rio Miringuava



Fonte: elaborado a partir de Prefeitura de São José dos Pinhais (2022b) e SUDERHSA (2000).

Conforme pode-se constatar no Plano Diretor de São José dos Pinhais e em citações da proposta de PACUERA, está prevista a criação de uma unidade de conservação da modalidade Área de Proteção Ambiental (APA) na região hidrográfica a montante da barragem de regularização de vazões. Até a data de revisão deste trabalho (agosto de 2022), não havia documentos que formalizassem ou instituíssem a referida APA. O município de São José dos Pinhais também mantém um programa

denominado “Pagamento por Serviços Ambientais – PSA Miringuava”, que considera a lei municipal n. 2.420/2014 que dispõe sobre a criação do programa RE-NASCENTE e institui o pagamento por serviços ambientais (PSA) para a proteção e conservação das nascentes, olhos d’água e cursos d’água naturais do município de São José dos Pinhais. O programa PSA Miringuava é composto por representantes do município, da Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, do órgão ambiental do estado, da Fundação Grupo O Boticário de Proteção a Natureza, The Nature Conservancy, Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação e agricultores locais (SEMMA/SJP, 2021). Este programa é aplicável aos proprietários que estão localizados desde as nascentes do rio Miringuava até o trecho de captação d’água da SANEPAR (SEMMA/SJP, 2021) e se caracteriza como:

“um importante e inovador instrumento de incentivo econômico aos proprietários de áreas naturais, que possuem boas práticas de uso e conservação de solo pelo provimento de serviços ambientais, dos quais toda a sociedade se beneficia” (SEMMA/SJP, 2021).

Além da comprovação da regularização fundiária e ambiental, torna-se necessário que os proprietários possuam área natural (vegetação nativa) nas propriedades rurais para estarem lícitos a se candidatar ao programa de PSA. O cálculo do valor para pagamento envolve uma metodologia denominada “Oásis” e considera um custo de oportunidade base, o tamanho da área natural conservada em hectare e uma nota atribuída a cada propriedade de acordo com uma pontuação obtida a partir do cumprimento de itens de uma tábua de cálculo (Quadro 6). Os itens considerados para cálculo estão relacionados, primeiramente com maior peso, à presença de áreas naturais e estágios de conservação; à qualidade da conservação e conectividade das áreas; à conservação de nascentes e demais recursos hídricos; às boas práticas de produção agrícola e gestão da propriedade (SEMMA/SJP, 2021).

Quadro 6 – Tábua de cálculo para classificação e priorização das propriedades rurais promotoras de serviços ecossistêmicos – Programa PSA Miringuava (continua)

Grupo	Itens	Respostas	Nota das respostas	Nota dos itens
Conservação - áreas naturais obrigatórias	Áreas naturais	Área de vegetação nativa em estágio avançado ou médio de regeneração	1	1
		Área de vegetação nativa em estágio inicial de regeneração	0,5	
		Área de vegetação em estágio avançado ou médio de regeneração sem sub-bosque	0,4	
		Área degradada destinada para recuperação com nativas	0,2	
Conservação	Possui área com vegetação nativa excedente à APP e RL bem conservado	Acima de 60% de excedente	0,5	0,5
		De 40 a 60%	0,4	
		De 20 a 40%	0,3	
		De 10 a 20%	0,2	
		De 5 a 10%	0,1	
		Abaixo de 5%	0	
	Conectividade entre as áreas naturais internas	Todas as áreas naturais formam um bloco único	0,25	0,25
		Acima de 50% do total de áreas naturais da propriedade forma um bloco único	0,125	
		A maioria das áreas naturais da propriedade encontra-se desconectada	0	
	Possui espécies exóticas invasoras nas áreas rurais contratadas	Não possui espécies exóticas invasoras	0,125	0,125
		Espécies exóticas invasoras submetidas a ações de manejo	0,05	
		Espécies exóticas invasoras não submetidas a ações de manejo	0	
	Inserção em RPPN	A totalidade das áreas naturais da propriedade é RPPN	0,8	0,8
		Parte da propriedade é RPPN	0,5	
Não possui RPPN		0		
Recursos hídricos	Porcentagem de nascentes com APP preservada	100% ou não possui nascentes na propriedade	0,5	0,5
		Acima de 50%	0,125	
		Não possui nascentes com APP preservada	0	
	Proporção da propriedade em APP preservada	Acima de 50% de APP na propriedade	0,5	0,5
		De 20 a 50% de APP na propriedade	0,25	
		Abaixo de 20% de APP na propriedade	0	
	Nível de preservação das APP em rios, lagos e áreas úmidas	APP totalmente preservada	0,4	0,4
		APP com vegetação predominantemente florestal acima de 70% de APP preservadas	0,25	
		APP degradada com plano de recuperação implantado	0,125	
		APP degradada em regeneração natural	0,0625	
		APP degradada, som plano de restauração não implantado ou sem plano de restauração	0	
	Presença de curso d'água	Possui cursos d'água	0,125	0,125
Não possui		0		

Legenda de siglas: APP – área de preservação permanente e RL – reserva legal, referem-se as áreas naturais obrigatórias; RPPN – reserva particular do patrimônio natural, refere-se a uma modalidade de unidade de conservação de propriedade privada.

Fonte: SEMMA/SJP, 2021.

Quadro 6 – Tábua de cálculo para classificação e priorização das propriedades rurais promotoras de serviços ecossistêmicos – Programa PSA Miringuava (continuação)

Grupo	Itens	Respostas	Nota das respostas	Nota itens
Produção	Uso de práticas mecânicas de conservação do uso do solo e da água	Aplicação ampla de práticas mecânicas em áreas produtivas ou não possui produção agrícola	0,3	0,3
		Aplicação inicial de práticas mecânicas em áreas produtivas	0,15	
		Práticas convencionais	0	
	Sistema produtivo	Certificação ou não possui produção agrícola	0,5	0,5
		Base agroecológicas ou Sistema de Plantio Direto de Hortaliças (SPDH)	0,3	
		Práticas convencionais	0	
	Possui áreas de criação cercadas	Limites entre as áreas naturais e as áreas de criação totalmente cercadas ou não possui criação na propriedade	0,125	0,125
		Áreas naturais parcialmente cercadas	0,0625	
		Não há separação das áreas naturais e áreas de criação	0	
	Práticas de baixo carbono adotadas na propriedade	Possui práticas de baixo carbono: integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), sistemas agroflorestais (SAFs), sistema plantio direto (SPD), tratamento de dejetos animais, fixação biológica de nitrogênio (FBN), recuperação de pastagem degradada ou não possui produção agrícola ou criação.	0,5	
		Não possui práticas de baixo carbono	0	
	Possui sistema de irrigação de plantio	Irrigação localizada ou não possui produção agrícola	0,25	0,25
		Irrigação por aspersão ou microaspersão	0	
	Origem da água utilizada na produção agrícola	Cisterna (captação de água da chuva) ou não possui produção agrícola	0,25	0,25
		Poço artesiano outorgado	0,2	
Poço artesiano não outorgado e em processo de emissão de outorga		0,15		
Poço artesiano não outorgado e sem processo de emissão da outorga ou captação direto do curso d'água		0		
Participa de cooperativas ou associações	Sim ou não se aplica	0,125	0,125	
	Não	0		
Gestão da propriedade	Possui sistema de zona de raízes ou jardins filtrantes	Sim	0,175	0,175
		Não	0	
	Destino dos dejetos da criação	Destinação adequada dos dejetos da criação ou não possui criação	0,25	0,25
		Destinação inadequada dos dejetos da criação (direto no curso d'água)	0	
	Destino correto dos resíduos sólidos	Compostagem e separação dos resíduos com destinação correta	0,125	0,125
		Coleta pela prefeitura municipal	0,0625	
		Não ou queima controlada no "buraco"	0	
	Produz abelhas nativas em sua propriedade	Sim, possui mais de duas espécies de abelhas nativas	0,2	0,2
		Sim, possui até duas espécies de abelhas nativas	0,1	
		Não	0	

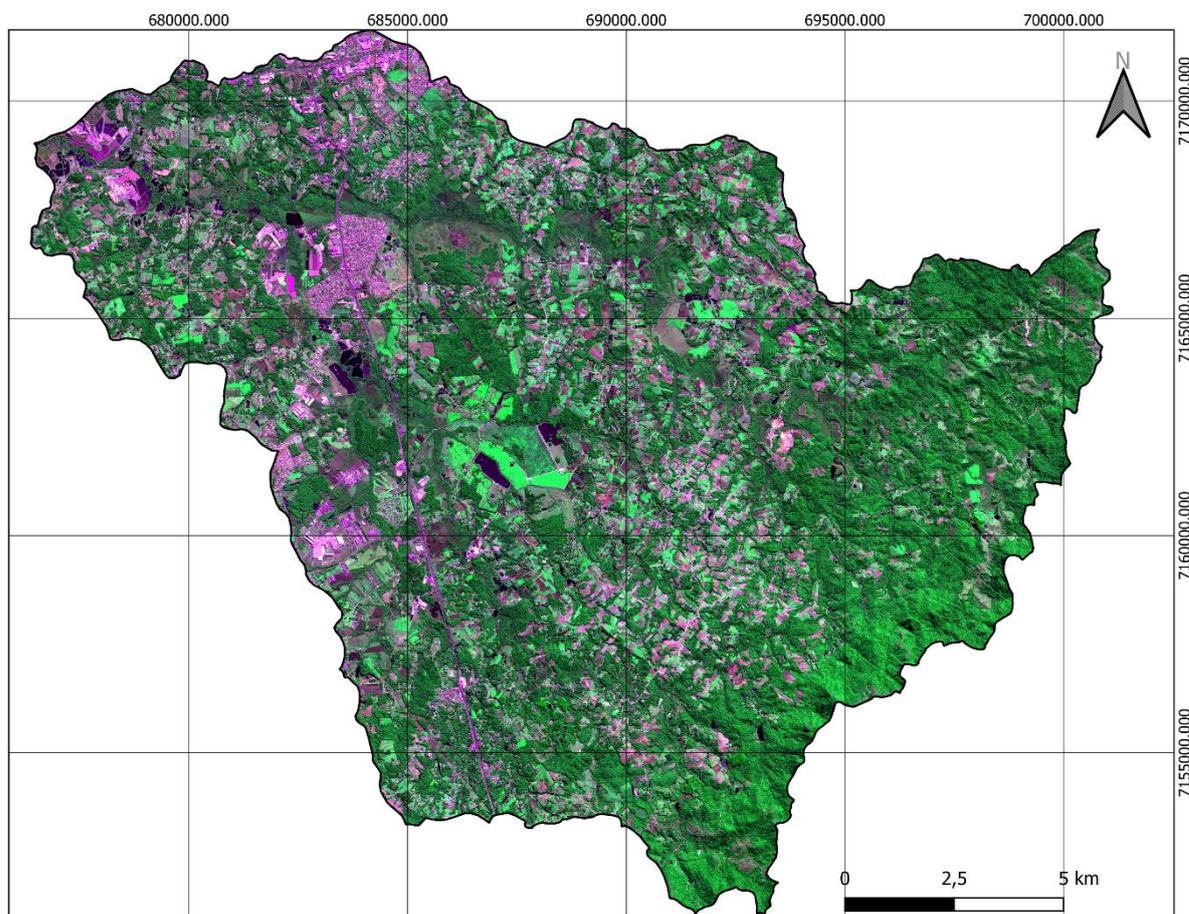
Legenda de siglas: APP – área de preservação permanente e RL – reserva legal, referem-se as áreas naturais obrigatórias; RPPN – reserva particular do patrimônio natural, refere-se a uma modalidade de unidade de conservação de propriedade privada. Fonte: SEMMA/SJP, 2021.

### 5.1.3 Uso e cobertura do solo

Neste capítulo serão analisados o uso e cobertura do solo na área de estudo, bem como a complementação com os usos pretendidos pelos planos vigentes e/ou propostos para a área, a saber: plano diretor do município de São José dos Pinhais e proposta de plano de uso de conservação das águas e entorno do reservatório (PACUERA) do Miringuava. Os resultados desse capítulo darão base para a proposição de ações para a abordagem ecossistêmica interativa para a área de manancial.

Neste trabalho, pela ausência de dados atualizados sobre mapeamento do uso do solo, adotou-se o método de classificação supervisionada de imagens de satélite. Foi escolhida uma imagem do satélite CBERS04A no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2021), datada de 26 de julho de 2021, denominada “CBERS\_4A\_WPM\_20210726”. Foram salvos os arquivos de imagem para as bandas azul (banda 1), verde (banda 2), vermelho (banda 3), infravermelho (banda 4) e pancromática - PAN (banda zero), sendo esta última responsável por permitir uma melhor nitidez da imagem, com uma resolução de dois metros. Por meio do software livre de geoprocessamento “QGis”, a imagem aérea foi trabalhada em sua composição de bandas 4-3-2 e pancromática, gerando uma imagem de falsa cor que permitisse uma melhor classificação automática do uso do solo. A Figura 25 apresenta o resultado da imagem de satélite preparada para ser utilizada no mapeamento do uso do solo. O mapeamento foi realizado para toda a área da bacia do rio Miringuava, sendo posteriormente recortada para a área de manancial.

Figura 25 - Composição da imagem de satélite para apoiar o mapeamento de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Miringuava



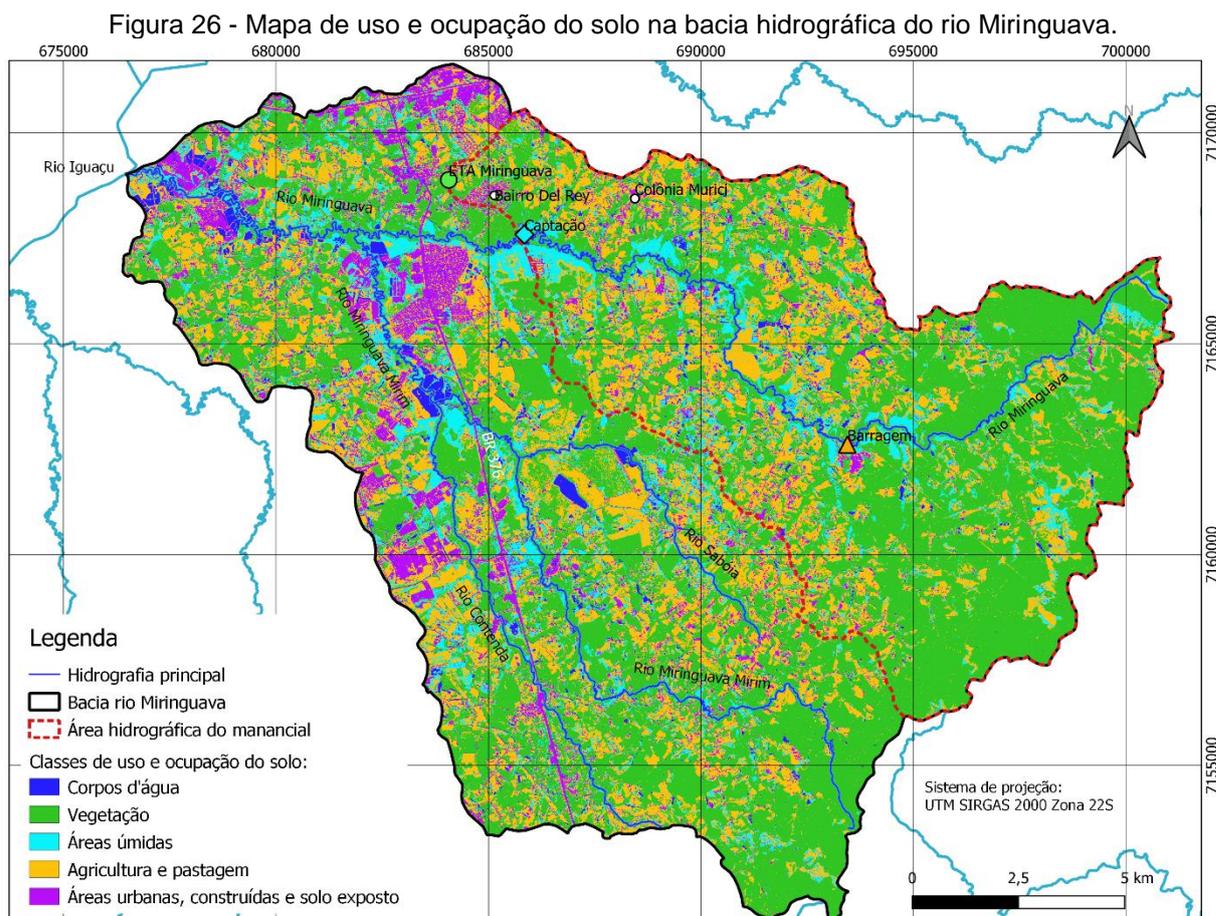
Fonte: elaboração própria a partir de dados da imagem de satélite "CBERS\_4A\_WPM\_20210726" (INPE, 2021).

Foram coletadas um total de trezentos e vinte e três amostras digitais para a classificação do uso do solo pelo programa de georreferenciamento QGis, classificadas entre:

- 1) Corpos hídricos;
- 2) Vegetação;
- 3) Áreas úmidas/ pântanos;
- 4) Agricultura e pastagens;
- 5) Áreas urbanas e construídas, incluindo solo exposto.

O número de amostras coletado foi escolhido após diversas tentativas de maneira a obter um melhor resultado do mapeamento, sendo analisado visualmente cada resultado do geoprocessamento até se obter um mapeamento fiel à realidade

local. O resultado do mapeamento é apresentado na Figura 26, abrangendo toda a área hidrográfica do referido rio, desde suas nascentes até a foz no rio Iguaçu. O polígono em vermelho destaca a área hidrográfica de contribuição à captação de água destinada ao tratamento e abastecimento público, referente a área de manancial. Posteriormente será dada ênfase na análise específica dessa área de manancial.



Fonte: elaboração própria com base em INPE (2022) e SUDERHSA (2000).

As primeiras impressões que podem ser retiradas do mapa de uso e ocupação do solo referem-se à gradação entre o meio natural, perpassando pelas áreas de agricultura até a área urbana no sentido sudeste à noroeste. A borda leste e sudeste da bacia compõe parte da cadeia de montanhas da Serra do Mar e é uma área composta por significativa presença de vegetação nativa entremeada por trechos de agricultura de menor porte devido às características acidentadas do terreno. A bacia hidrográfica possui dois eixos de deflúvio principais, sendo o rio Minguava Mirim que vem de sudeste à noroeste e o próprio rio Minguava desde suas nascentes. O rio Minguava Mirim conflui com o rio Minguava já em área urbana e aproximadamente

9,0 km abaixo ocorre a confluência com o rio Iguaçu. Na bacia hidrográfica do rio Miringuava Mirim observa-se uma expansão das áreas urbanas e construídas que se desenvolve pelo eixo da rodovia federal BR 376, caminho entre a metrópole Curitiba ao litoral do estado de Santa Catarina. Já a bacia de manancial do rio Miringuava apresenta remanescentes de vegetação nativa nas regiões de nascentes, em trecho da Serra do Mar, no que se convencionou denominar como “alto rio Miringuava”, havendo uma gradação para áreas de agricultura na região do “médio rio Miringuava” conectados ainda por extensas áreas úmidas que acompanham todo o canal de deflúvio principal. O ponto de captação d’água destinado à Estação de Tratamento de Água e abastecimento público encontra-se no limite entre as áreas rurais e urbanas. Observa-se uma contenção da expansão urbana sobre a área de manancial, composta essencialmente por áreas rurais, promovida provavelmente pelas políticas de gestão territorial citadas anteriormente no capítulo 5.1.2, embora o bairro Del Rey, ao final da bacia de manancial, represente uma nova área que vem se expandindo com o núcleo urbano central da RMC.

O reservatório a ser formado pela barragem no alto rio Miringuava possuirá a finalidade de reservação de água de períodos mais chuvosos para promover a regularização de vazões rio abaixo, a fim de propiciar uma maior captação de água do que se poderia fazer anteriormente sem tal infraestrutura cinza, estando o sistema de abastecimento de água sujeito a variações sazonais que interferem na disponibilidade hídrica do recurso hídrico. Alguns impactos ambientais decorrentes da inundação da área, conforme citado pela proposta de PACUERA de Sanepar e Sociedade das Águas (2020), são a alteração do regime hidrológico e consequentemente no ecossistema da fauna e flora local. Ou seja, trata-se da alteração de uma área que possui significativa cobertura ainda por ecossistemas naturais em bom estado de conservação, composta pelas florestas ombrófila mista aluvial (mata ciliar) e montana (floresta com araucária), além de campos naturais e campos de inundação (áreas úmidas).

Outro impacto negativo refere-se à pressão socioambiental e geração de tensão entre a população local, em sua maioria composta por pequenos produtores rurais. Algumas áreas de agricultura serão diretamente afetadas pela inundação, sendo posteriormente necessário restaurar por meio de infraestrutura natural algumas áreas antropizadas em locais que deverão compor a área de preservação permanente (APP) no entorno do reservatório. O diagnóstico apresentado pela proposta de

PACUERA cita que na bacia do rio Miringuava, no trecho entre a barragem e a captação d'água, o uso do solo é predominantemente rural, onde 94,92% das propriedades são de pequeno porte, com menos de 48 hectares. Representa 611 imóveis rurais e aproximadamente 1.531 moradores, cujas propriedades são utilizadas para agricultura familiar, residências permanentes, chácaras de lazer, pequenos comércios, pesque-pague e pastagens. São áreas de agricultura tradicional já estabelecidas entre áreas de vegetação nativa em diferentes estágios de sucessão. A sociedade local, principalmente na Colônia Murici e seu entorno, traz laços familiares e culturais de imigrantes poloneses e italianos que se manifestam na maneira de viver (atividades sociais da região, como missas, festas, eventos geralmente promovidos pela igreja católica de cada comunidade rural), como na maneira de produzir no campo (produção tradicional de olerícolas em geral). A região também reflete um interesse de novos moradores em buscar chácaras de lazer visando a qualidade de vida e tranquilidade local (SANEPAR, SOCIEDADE DAS ÁGUAS, 2020).

Em visita a campo foram observadas áreas de cultivo na região do médio e alto rio Miringuava, de maneira a melhor interpretar os resultados do mapeamento de uso e cobertura do solo. Foram observadas diversas áreas de cultivo com plantio sem premissas básicas de conservação do solo, tais como a ausência da consideração das curvas de nível e, em alguns desses casos foram observados ainda sistemas de irrigação por gotejamento ou aspersão. Trata-se de um manejo que torna o solo muito suscetível à erosão e conseqüentemente ao carreamento de substrato, fertilizantes, defensivos agrícolas e demais compostos utilizados na agricultura aos corpos d'água. De acordo com o diagnóstico socioeconômico realizado por Sanepar e Sociedade das Águas (2020) para a proposta de PACUERA, majoritariamente os agricultores que comercializam seus produtos utilizam o sistema de plantio direto (SPD), cujas técnicas incluem a ausência ou mínimo revolvimento do solo, a cobertura do solo com palhada e a rotação de culturas. Em campo observou-se esse sistema de cultivo na maioria das propriedades, mas com a ausência de práticas mecânicas de conservação do uso do solo e da água. Sanepar e Sociedade das Águas (2020) citam que o sistema de agricultura orgânica não é expressivo. Alguns produtores têm migrado para o sistema de cultivo hidropônico, cujas técnicas envolvem o cultivo em estufas, com pequena utilização de água, sem necessidade de uso do solo como substrato, havendo uma maior produção em uma menor área.

O estudo realizado por Sanepar e Sociedade das Águas (2020) encontrou também algumas outras atividades isoladas na bacia hidrográfica, tal como a mineração para extração de caulim (destinado a produção de revestimentos cerâmicos), criação de animais de bovinocultura para leite e reflorestamento com exóticas. As imagens seguintes (Figuras 27, 28 e 29) apresentam algumas fotos obtidas em campo, demonstrando o rio Miringuava, algumas áreas de agricultura e o local da construção da barragem.

Figura 27 – Fotos 1 a 6 obtidas na bacia de manancial do rio Miringuava.



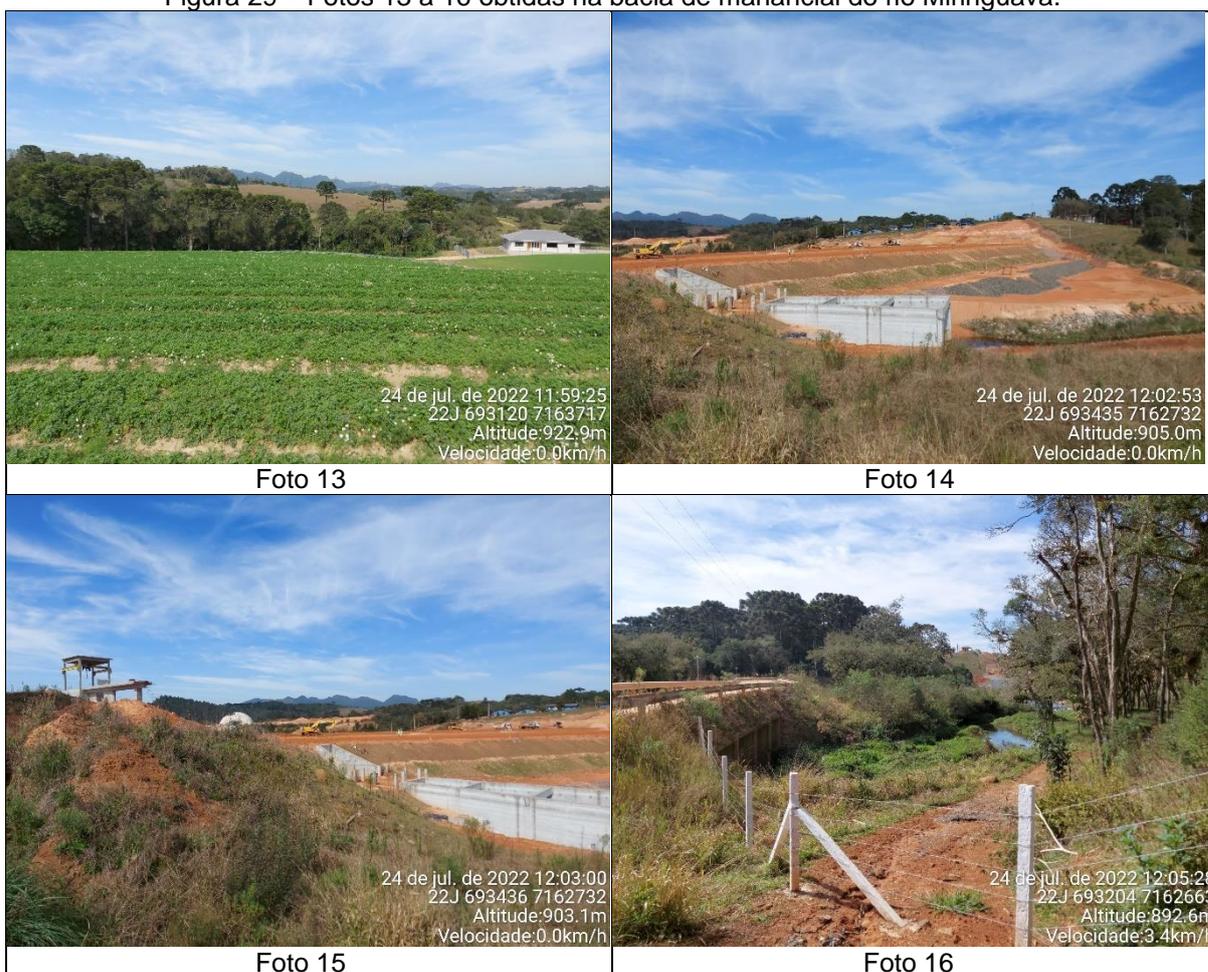
Legenda: Foto 1 – rio Miringuava em trecho anterior e próximo à captação d’água, onde se observa pesca de lazer no fim de semana; Foto 2 – ponte sobre o rio Miringuava próximo à Colônia Murici; Foto 3 – Empreendimento de aquicultura “pesque-pague” destinado a lazer e turismo localizado cerca de 150,0 m do rio Miringuava; Foto 4 – Área do núcleo urbano da Colônia Murici, com vista da Igreja local (Paróquia Sagrado Coração de Jesus); Foto 5 – Vista de campo para cultivo no perímetro da área urbana da Colônia Murici com sistema de irrigação por gotejamento; Foto 6 – Vista de estrada vicinal em caminho entre Colônia Murici e barragem da Sanepar sendo observado também a susceptibilidade de erosão e carreamento de solo nas estradas rurais. Fonte: acervo próprio.

Figura 28 – Fotos 7 a 12 obtidas na bacia de manancial do rio Miringuava.



Legenda: Foto 7 – área de agricultura e reflorestamento ao fundo; Foto 8 – áreas de cultivo onde se observa ao fundo a ausência de consideração da topografia natural do terreno (fora das curvas de nível), próximo a região nascentes d'água (área com vegetação no centro direito da imagem); Foto 9 – ao fundo observa-se outro exemplo de cultivo sem a consideração da topografia natural do terreno, muito comum na bacia hidrográfica em questão; Foto 10 – Área com bovinocultura onde se observa também viveiros escavados de piscicultura; Foto 11 – Terreno com solo aparentemente degradado por mineração, atualmente utilizado para bovinocultura; Foto 12 – Área com nascentes e córrego ao fundo do vale sem a presença de vegetação na APP. Fonte: acervo próprio.

Figura 29 – Fotos 13 a 16 obtidas na bacia de manancial do rio Miringuava.



Legenda: Foto 13 – área próxima a região do alto Miringuava, com cultivo em curva de nível, ao centro observa-se vale preservado com provável presença de córrego e nascentes, ao fundo é possível observar a cadeia de montanhas da Serra do Mar; Foto 14 – vista do talude da barragem que está sendo construída, ao fundo observa-se a cadeia de montanhas da Serra do Mar; Foto 15 – Vista da barragem que está sendo construída, ao lado esquerdo observa-se estrutura de concreto que provavelmente será um vertedor tulipa, trazendo uma perspectiva da altura de coluna d'água e do talude futuro, ao lado direito a estrutura de concreto representa o canal de escoamento do vertedor. Foto 16 – Vista do rio Miringuava logo a jusante da obra da barragem, onde há uma ponte ao lado esquerdo em uma estrada rural local. Fonte: acervo próprio.

Em estudos de qualidade da água apresentados na proposta de Plano de Uso e Conservação do Entorno do Reservatório do Miringuava foram observados compostos correlatos à utilização de agrotóxicos e fertilizantes (ferro, manganês, alumínio, fósforo), além de processos erosivos (referente à turbidez da água) e ao lançamento de esgotos sanitários (evidenciado pela presença da bactéria *Escherichia coli* e valores elevados de demanda química de oxigênio) (SANEPAR, SOCIEDADE DA ÁGUA, 2020). Esses dados referem-se a pontos monitorados apenas a montante do local onde será construída a barragem, ou seja, na região mais conservada da bacia hidrográfica referente ao alto rio Miringuava (retornar à Figura 22).

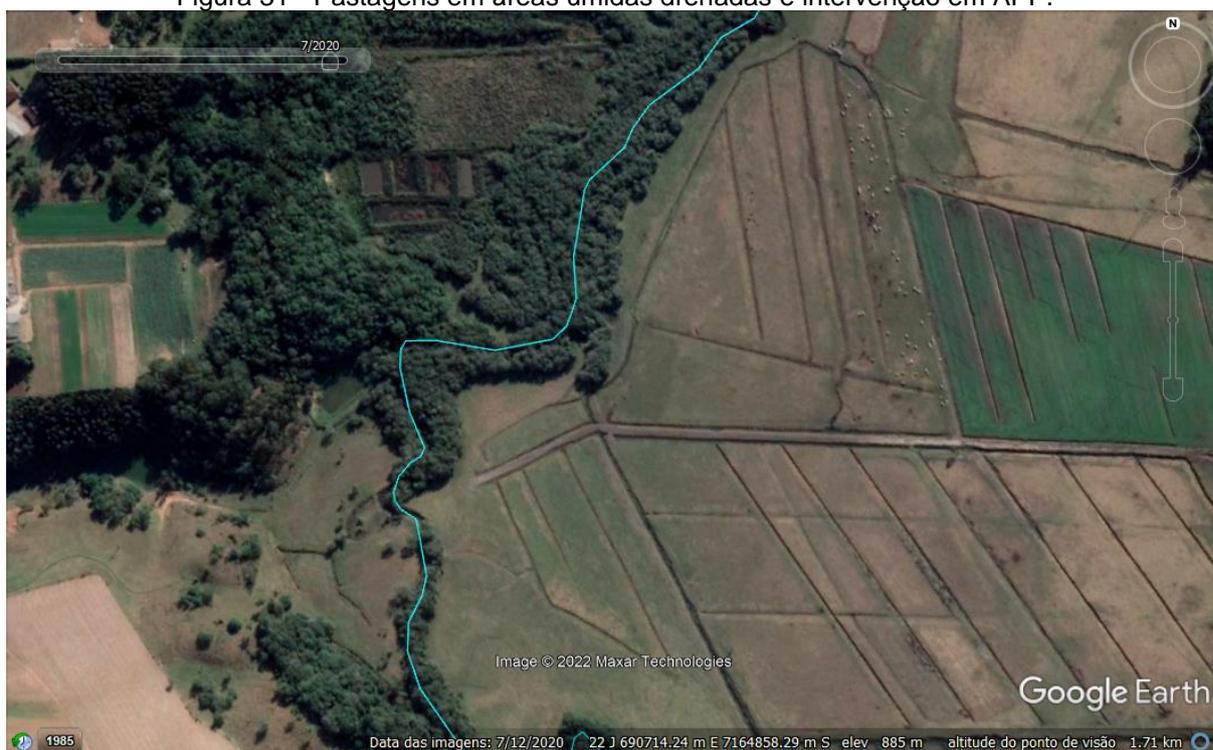
Algumas imagens aéreas obtidas por meio do software Google Earth (2022) foram compiladas de maneira a ilustrar algumas observações sobre o uso do solo na bacia de manancial do rio Miringuava e que dão base para a discussão realizada no capítulo 5.2, com os principais elementos estressores sobre a promoção dos serviços ecossistêmicos, dentre eles: cultivos sem técnicas adequadas de conservação do solo e das águas, intervenções em áreas úmidas e áreas de preservação permanente e alterações do ciclo hidrológico (Figura 30 a Figura 35).

Figura 30 - Drenagem de áreas úmidas para cultivo.



Fonte: imagem datada de 7 de dezembro de 2021 de Google Earth (2022).

Figura 31 - Pastagens em áreas úmidas drenadas e intervenção em APP.



Legenda: é comum a prática de drenagem de áreas úmidas na bacia do rio Miringuava e a criação de animais em locais com livre acesso às APP. Na imagem observa-se trecho de vegetação nativa no entorno do rio Miringuava quase inexistente. Fonte: imagem datada de 7 de dezembro de 2021 de Google Earth (2022).

Figura 32 - Área de intervenção no rio Miringuava para a construção da barragem antes e depois início das obras



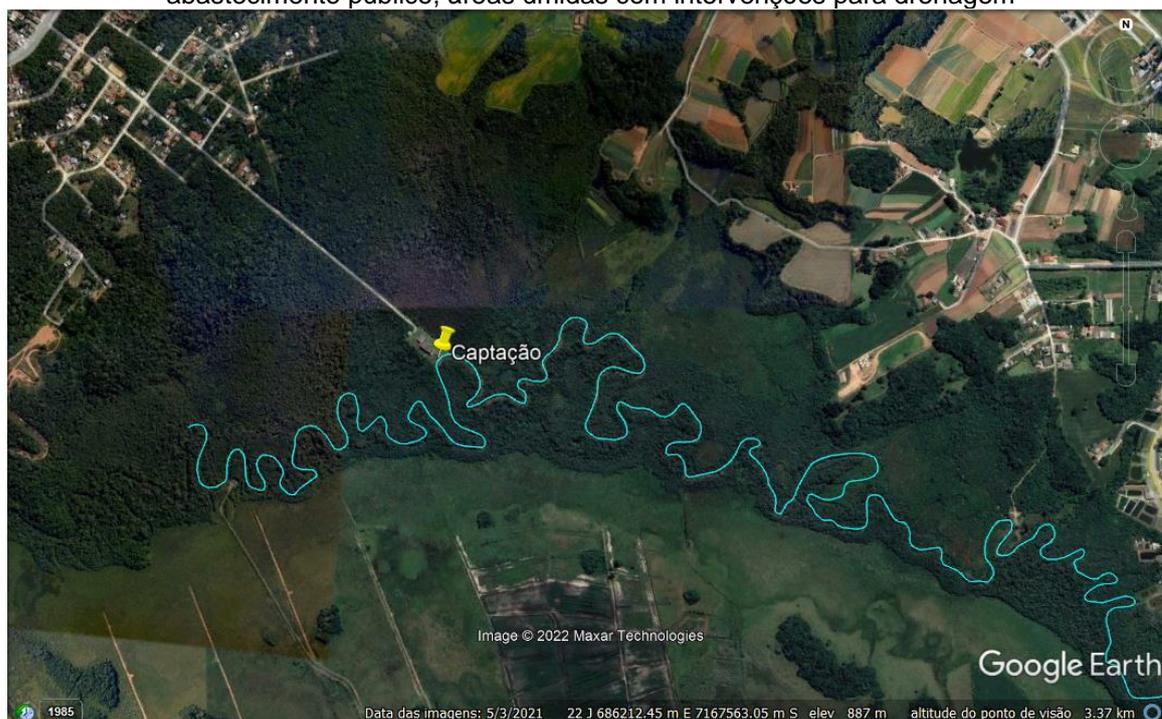
Legenda: a construção da barragem de regularização de vazões está sendo realizada com solo local e inundará parte da área do alto rio Miringuava, onde há predominância de vegetação nativa e agricultura de pequeno porte. Fonte: imagens históricas de Google Earth (2022).

Figura 33 - Ocupação e drenagem de áreas úmidas próximo ao rio Miringuava e plantios com ausência de consideração das curvas de nível.



Legenda: exemplo de situação que se repete ao longo do entorno do rio Miringuava, onde há a ocupação e drenagem de áreas úmidas. Observa-se também nesta imagem a presença de estruturas de estufas utilizadas geralmente para cultivo de olerícolas em sistema hidropônico; no entorno observa-se ainda trecho de silvicultura e cultivos do solo sem técnicas básicas de conservação do solo e água (ausência de plantio em curvas de nível). Fonte: imagem datada de 7 de dezembro de 2021 de Google Earth (2022).

Figura 34 – Imagem aérea do local da captação de água para o sistema de tratamento e abastecimento público, áreas úmidas com intervenções para drenagem



Legenda: o local de captação de água para o sistema de tratamento e abastecimento público representa o final da bacia de manancial. Na imagem aérea observa-se ainda algumas intervenções em áreas

úmidas, provavelmente com o intuito de drenagem e uso do solo para cultivo. Ao lado superior direito observa-se parte da Colônia Murici e áreas de cultivo. Ao lado superior esquerdo observa-se parte do bairro Del Rey, incluído como macrozona de ocupação controlada no plano diretor de São José dos Pinhais.

Fonte: imagem datada de 5 de março de 2021 de Google Earth (2022).

Figura 35 - Imagem sobre parte do bairro Del Rey, em área do manancial Miringuava

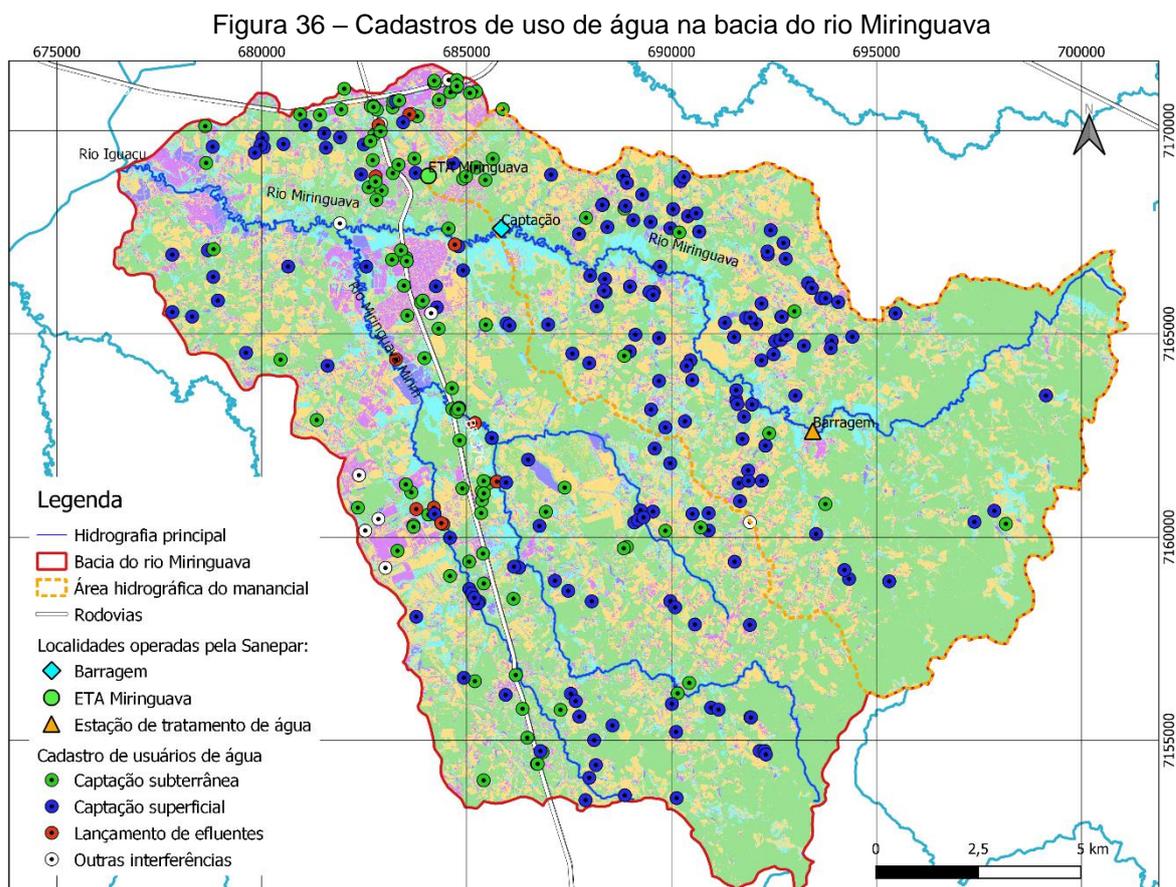


Legenda: parte do bairro Del Rey, apesar de localizada ao final da bacia hidrográfica, está contida em área de drenagem do manancial Miringuava. Ou seja, as águas drenadas neste trecho contribuem para o local de captação de água. Este bairro é o limiar de transição entre a área urbana e área rural. Fonte: imagem datada de 5 de março de 2021 de Google Earth (2022) e compilação de dados demográficos de Prefeitura Municipal de São José dos Pinhais (2022).

As áreas urbanas do manancial do Miringuava compõem o vilarejo da Colônia Murici e o bairro Del Rey. A Colônia Murici possui uma história e tradição que remonta o final do século XIX, quando famílias de imigrantes poloneses foram assentadas no local e desde então desenvolveram suas características socioculturais em torno das tradições polonesas e no cultivo da terra. A localidade apresenta potencial para o desenvolvimento de turismo, principalmente a modalidade cultural e gastronômico (PISARSKI JUNIOR, 2019). Já o bairro Del Rey representa um bairro recente que acompanha a expansão da mancha urbana de São José dos Pinhais, localizado no limite entre a área urbana e rural do município (SÃO JOSÉ DOS PINHAIS). Observa-se infraestruturas urbanas deficientes, tais como ausência de pavimentação e passeios, rede de esgotos sanitários e sistemas de drenagem. Ambas as localidades urbanas localizadas na área de manancial não possuem sistema de coleta e

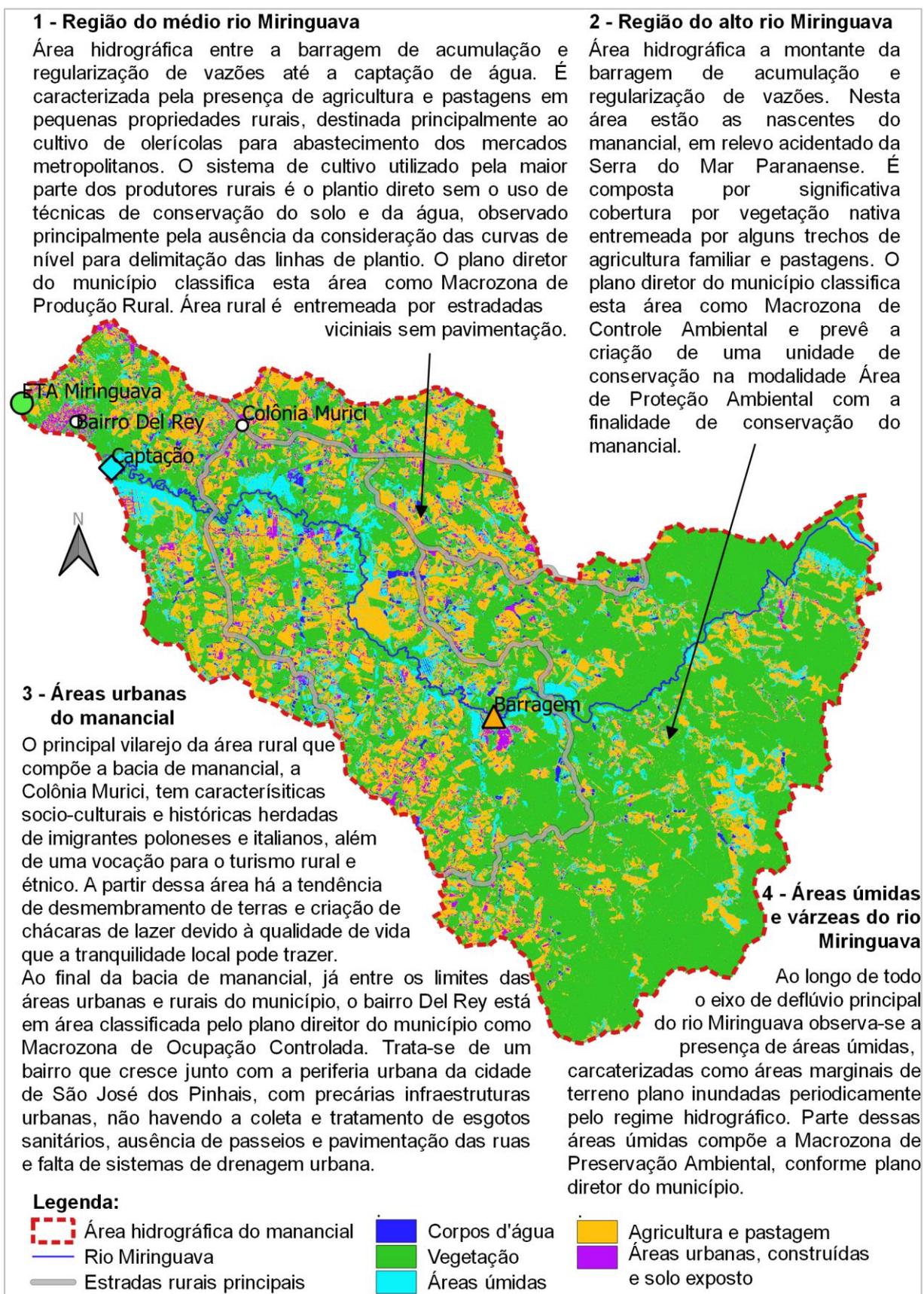
tratamento de esgotos sanitários, de acordo com dados do censo demográfico de 2010 (IBGE, 2010).

Em relação aos usos de água na bacia hidrográfica, os dados oficiais de outorga de recursos hídricos indicam cento e vinte e um usuários de recursos hídricos cadastrados. Destes quinze são para captação subterrânea (poços rasos ou profundos) e cento e cinco são para captação superficial de nascentes ou córregos. A grande maioria está localizada na região do médio Miringuava, entre a barragem e a captação de água, composto principalmente por cadastros de uso insignificante de água para uso no meio rural (irrigação, dessedentação animal, aquicultura e consumo humano). No trecho a jusante da área de manancial, observa-se a presença de captações para indústrias diversas e agropecuária (IAT, 2022).



A Figura 37 ilustra as principais características de uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do manancial Miringuava.

Figura 37 – Mapa resumo do uso e ocupação do solo na bacia de manancial do rio Miringuava



Fonte: elaboração própria.

## 5.2 ELEMENTOS ESTRESSORES SOBRE A PROMOÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

Os diferentes usos do solo têm importante influência sobre os ciclos hidrológicos em questão de quantidade e a qualidade dos recursos hídricos, uma vez que a água é um elemento que integra a paisagem e é sensível às transformações nas bacias de drenagem. As áreas periurbanas da região metropolitana de Curitiba carregam uma gradação entre diferentes usos do solo, sendo observado áreas urbanas em expansão nas periferias, geralmente com infraestruturas urbanas precárias e áreas rurais destinadas ao uso agropecuário de pequenas propriedades rurais, onde se observa o plantio de alimentos como olerícolas e frutíferas em geral, destinadas ao abastecimento dos mercados consumidores da metrópole. O uso e manejo das terras agrícolas tem influência sobre as concentrações de nutrientes na água, tais como nitrogênio e fósforo. Já as áreas urbanas contribuem para uma carga orgânica e poluição difusa, sendo intensamente afetada a dinâmica do ciclo hidrológico devido a impermeabilização do solo e alteração das formas naturais do relevo.

Por meio do conhecimento da dinâmica de uso e ocupação do solo da área de manancial do rio Miringuava, foram elencados os elementos estressores sobre a promoção dos serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade da água nessa bacia de manancial. Esse levantamento e análise de elementos estressores sobre os serviços ecossistêmicos foi realizado para cada um dos quatro grupos de uso e cobertura do solo levantados, conforme apresentado anteriormente na Figura 37: região do médio Miringuava (predominantemente agricultura); região do alto Miringuava (predominantemente áreas conservadas), áreas urbanas (Colônia Murici e bairro Del Rey) e áreas úmidas e várzeas do rio Miringuava (acompanha todo o entorno do rio Miringuava). A partir da observação desses elementos estressores, serão propostas ações e infraestruturas (naturais, mistas e cinzas) para o controle e promoção dos serviços ecossistêmicos.

Figura 38 – Classificação das principais zonas de uso e cobertura do solo na bacia de manancial do rio Miringuava

Zona 1 Região do médio rio Miringuava	Zona 2 Região do alto rio Miringuava	Zona 3 Áreas úmidas e várzeas	Zona 4 Áreas urbanas da bacia de manancial
<ul style="list-style-type: none"> <li>•Região hidrográfica entre a barragem e a captação de água para tratamento e abastecimento público</li> <li>•Predominantemente composta por áreas de agricultura e pastagens</li> <li>•Pequenas propriedades rurais: agricultura familiar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Região hidrográfica entre as nascentes do rio Miringuava até o eixo da barragem, próximo à Serra do Mar</li> <li>•Predominantemente composta por áreas naturais conservadas</li> <li>•Alguns trechos de agricultura familiar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas úmidas presentes no entorno e ao longo de todo o rio Miringuava e corpos hídricos afluentes</li> <li>• Alguns trechos encontram-se conservados, outros são utilizados para agropecuária</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Área urbana da Colônia Murici, tradicional região formada por descendentes de imigrantes poloneses e italianos, produtores rurais familiares;</li> <li>• Bairro Del Rey: área de expansão urbana da cidade de São José dos Pinhais</li> </ul>

Fonte: elaboração própria.

Uma vez que a bacia hidrográfica do rio Miringuava é predominantemente rural, os principais elementos estressores sobre a promoção de serviços ecossistêmicos hídricos estão relacionados ao uso inadequado do solo por meio de sistemas agrícolas sem a consideração de técnicas de conservação do solo e da água, o desmatamento e fragmentação de florestas naturais e a intervenção em áreas sensíveis como as APP e várzeas (áreas úmidas). Alguns outros fatores difusos ao longo da bacia e relacionados às áreas e atividades rurais também contribuem para uma pressão negativa sobre os serviços ecossistêmicos de provisão e regulação da qualidade da água, citam-se: a contaminação do lençol freático e solo pela disposição de efluentes domésticos e dejetos animais e a erosão e carreamento de resíduos provenientes do escoamento superficial pelas estradas rurais vicinais.

A barragem de acumulação e regularização de vazões apresenta-se como um elemento estressor sobre a promoção dos serviços ecossistêmicos hídricos durante as obras de sua construção, posteriormente os benefícios advindos dessa infraestrutura cinza serão positivos em relação a provisão e manutenção da qualidade da água, embora possa afetar negativamente outros serviços ecossistêmicos relacionados à biodiversidade.

Por fim, as pequenas áreas urbanas presentes ao final da bacia de manancial representam uma ameaça aos serviços ecossistêmicos caso suas expansões não sejam controladas. A Colônia Murici trata-se de um vilarejo antigo e tradicional da comunidade de agricultores locais. Os elementos estressores advindos dessa área estão relacionados, principalmente, à contaminação do solo, lençol freático e corpos

hídricos superficiais por esgotos sanitários devido à ausência de sistema de saneamento para coleta e tratamento desses efluentes; além da tendência de desmembramento das áreas rurais em chácaras de lazer, podendo haver um aumento da contaminação do solo e das águas por efluentes domésticos advindos de uma maior densidade populacional local. Já o bairro Del Rey caracteriza-se como uma área da periferia da cidade de São José dos Pinhais, que vem se expandindo recentemente junto com a cidade e não possui infraestrutura adequada de saneamento básico. Sua localização próxima à captação de água, dentro da área de drenagem do trecho de manancial, pode contribuir para a contaminação das águas de abastecimento público. O Quadro 7 apresenta um resumo dos elementos estressores identificados e sua relação com a perda de serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade da água.

Quadro 7 – Resumo dos elementos estressores sobre a promoção dos serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade da água na bacia de manancial Miringuava (continua)

<b>Elemento estressor</b>	<b>Descrição</b>	<b>Causa</b>	<b>Zona de ocorrência*</b>	<b>Perda ou desserviços ecossistêmicos:</b>
EST1 - Suscetibilidade de erosão do solo de áreas cultiváveis	Erosão com o carreamento de substrato, nutrientes, fertilizantes e defensivos agrícolas para os corpos hídricos ou com o pisoteio de animais de criação.	Ausência de técnicas de conservação do solo e das águas no meio agropecuário	1 e 2	Contaminação e assoreamento dos corpos hídricos da área de manancial; empobrecimento do solo, refletindo em impactos no sistema produtivo local, se tratando em sua maioria de pequenos produtores rurais.
EST2 – Intervenções em APP e reserva legal	Degradação de áreas naturais obrigatórias, tais como as áreas de preservação permanente e reserva legal utilizadas para cultivo agrícola, pecuária, aquicultura ou por intervenções por obras em recursos hídricos.	Irregularidade ambiental das propriedades rurais; construção de barragens nos cursos hídricos, provocando a inundação de APP e demais áreas naturais ou agrícolas	1, 2 e 4	Potencialização do assoreamento dos corpos hídricos da área de manancial e contaminação da água; há a perda da perenidade de recursos hídricos como nascentes e pequenos córregos; prejudica a conectividade das áreas naturais conservadas e da biodiversidade local.
EST3 – Contaminação das águas por nutrientes e defensivos agrícolas	Carreamento de nutrientes, fertilizantes e defensivos agrícolas para os corpos hídricos do manancial promovendo a degradação da qualidade da água e fenômenos de eutrofização	Uso de fertilizantes, adubos e defensivos agrícolas de maneira inadequada nas áreas cultiváveis	1 e 2	Contaminação e perda de qualidade da água do manancial de abastecimento público; encarecimento do sistema de tratamento de água; risco de exposição a doenças; degradação da qualidade da água do futuro reservatório do Miringuava.
EST4 – Contaminação por efluentes e resíduos domésticos e agropecuários	Efluentes e resíduos agropecuários e domésticos não tratados corretamente, tais como dejetos animais, carcaças animais e efluentes de aquicultura, os quais são dispostos inadequadamente nos cursos hídricos	Ausência de técnicas de tratamento de efluentes e resíduos da agropecuária	1 e 2	Contaminação do solo e do lençol freático, e conseqüentemente perda de qualidade da água do manancial superficial de abastecimento público; risco de exposição a doenças.
EST5 – Intervenção em recursos hídricos superficiais (nascentes e córregos)	Intervenção nos cursos hídricos para captação e lançamento de efluentes de atividades agropecuárias ou por intervenções por obras em recursos hídricos	Uso da água de nascentes e córregos para sistemas de irrigação, aquicultura, limpeza, paisagismo, lazer, sanitário, entre outros.	1, 2 e 4	Alteração do regime hidrológico, perda da qualidade da água e da conectividade das áreas naturais devido à intervenção em APP, causando impactos negativos sobre a biodiversidade local e conflitos de uso de recursos hídricos.

EST6 – Poluição difusa e carreamento de resíduos provenientes das estradas vicinais (não pavimentadas)	Estradas vicinais, sem manutenção ou técnicas de conservação, passam por processos erosivos e contribuem para o carreamento de resíduos para os corpos hídricos	Processos erosivos de estradas vicinais e com ausência de manutenção ou adoção técnicas de drenagem e conservação	1, 2 e 3	Assoreamento dos corpos hídricos da área de manancial, aumento dos parâmetros turbidez e sólidos suspensos, prejudicando o sistema de captação e tratamento de água; afeto na qualidade do transporte de moradores locais abastecimento e escoamento da produção.
EST7 – Desmembramento de áreas rurais em chácaras de lazer	Áreas rurais próximas aos centros urbanos (regiões periurbanas) são desmembradas em lotes para pequenas chácaras de lazer.	Valorização imobiliária e busca pela vida no campo	1, 2 e 3	Aumento densidade demográfica e conseqüentemente da contaminação do solo, águas subterrâneas e superficiais por efluentes domésticos; fragmentação e desconexão de áreas naturais; aumento da demanda hídrica para consumo humano, havendo maior uso dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos.
EST 8 – Crescimento de áreas urbanas periféricas sem infraestrutura de saneamento básico	Áreas urbanas que se expandem sobre áreas anteriormente rurais, sem a disponibilidade de infraestruturas básicas a priori, como saneamento básico, pavimentação, transporte público, rede de energia elétrica.	Crescimento populacional da metrópole, desigualdades sociais, necessidade por moradia, descontrole sobre a expansão urbana	3	Contaminação do solo e do lençol freático, e conseqüentemente perda de qualidade da água do manancial superficial de abastecimento público; risco de exposição a doenças e risco de desastres socioambientais.

### 5.3 SELEÇÃO DOS PROMOTORES DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Considerando as principais características de uso e cobertura do solo, também foram selecionados os atuais promotores de serviços ecossistêmicos na bacia hidrográfica do manancial Miringuava, sendo eles:

- áreas úmidas conservadas;
- florestas ripárias conservadas (matas ciliares);
- áreas naturais conservadas e conectadas entre si (demais áreas naturais);
- propriedades rurais com técnicas adequadas de uso e conservação do solo;
- barragem de acumulação e regularização de vazões (considera-se sua estrutura finalizada e em plena operação para a finalidade que se destina).

As áreas úmidas e florestas ripárias têm capacidade tampão reduzindo a poluição do solo, da água e do ar, proporcionando serviços ambientais de alto valor ecológico, econômico e social no controle dos processos naturais e funcionamento dos ecossistemas. Proteger áreas naturais e os serviços ecossistêmicos advindos dela são fundamentais, inclusive, para o desenvolvimento da agricultura (Tundisi e Tundisi, 2010). O Quadro 8 apresenta uma relação entre os promotores de serviços ecossistêmicos identificados e a descrição dos benefícios advindos de seu desenvolvimento. Nota-se que neste caso a barragem de regularização de vazões, infraestrutura cinza, foi considerada como promotora de serviços ecoantrópicos, considerando os benefícios advindos de sua operação.

Quadro 8 – Atuais promotores de serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade das águas na bacia de manancial do Miringuava

Promotores de serviços ecossistêmicos	Descrição dos benefícios/serviços	Referências
Áreas úmidas conservadas	As áreas úmidas controlam inundações e assoreamento dos corpos hídricos e promovem a regulação da qualidade da água por meio de processos como a desnitrificação, a retenção de fósforo e metais pesados.	Tundisi e Tundisi (2010); ONU (2018); Oliveira, Maillard; Andrade Pinto (2017).
Florestas ripárias conservadas (matas ciliares – APP)	Promovem o controle de assoreamento dos corpos hídricos e a proteção da qualidade das águas de rios, lagos e reservatórios.	Tundisi e Tundisi (2010); Oliveira, Maillard; Andrade Pinto (2017).
Áreas naturais conservadas e conectadas	Controlam os fenômenos de erosão e assoreamento dos corpos hídricos, promovendo uma melhora da qualidade das águas, além do armazenamento hídrico no solo, reduzindo a velocidade de escoamento da água ao longo da bacia, promovendo a recarga dos aquíferos subterrâneos	Tundisi e Tundisi (2010); ONU (2018); Galluppi-Selich et al. (2019).
Propriedades rurais com técnicas adequadas de uso e conservação do solo	Controle de processos erosivos e carreamento de poluição difusa aos corpos hídricos, contribuindo para a melhora da qualidade e uso racional dos recursos hídricos.	Gómez; Flores (2015); Gordon; Finlayson; Falkenmark (2010); Rockström et al. (2004).
Barragem de acumulação e regularização de vazões	Homogeneidade das vazões ao longo das diferentes estações do ano, possibilitando uma maior provisão hídrica para uso no abastecimento público e demais atividades; Controle de processos erosivos e de assoreamento, possibilitando uma melhora da qualidade da água a jusante da barragem.	Kobiyama et al. (2016); Richter; Thomas (2008); Gao et al. (2020).

#### 5.4 PROPOSIÇÃO DE AÇÕES PARA APRIMORAR OS PROMOTORES DE SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS

Uma vez observados e levantados os promotores de desserviços ecossistêmicos (elementos estressores) e os promotores de serviços ecossistêmicos hídricos, tem-se o panorama das forças e fraquezas da área de estudo em relação àquela que deve ser sua principal vocação: ser um manancial de abastecimento público. Partindo do presente para um cenário futuro, foram observadas as principais ameaças e as principais oportunidades para aprimoramento dos serviços ecossistêmicos hídricos no manancial do Miringuava. Para tanto esta seção tem o objetivo de propor ações para o aprimoramento dos promotores de serviços

ecossistêmicos hídricos, seguindo os princípios básicos da abordagem ecossistêmica interativa tal como definido e fundamentado no capítulo 4.

Seguindo os princípios básicos da abordagem ecossistêmica interativa, primeiramente serão observadas as oportunidades de conservação do que se encontra conservado na bacia de manancial. A conservação da infraestrutura natural abrange desde áreas obrigatórias, tais como as APP e reservas legais, como áreas excedentes e representativas do ponto de vista de sua funcionalidade e riqueza ecossistêmica, mantidas como opção pelos proprietários. Neste rol encontram-se as áreas úmidas conservadas, as quais os proprietários mantêm sem intervenção. Instrumentos de gestão devem buscar selecionar e promover a conservação dessas áreas naturais significativas, evitando que elas sejam degradadas.

Alguns instrumentos de gestão que podem ser utilizados são:

- o comando e controle para a obrigatoriedade de preservação das áreas de mata ciliar e reservas legais, incluindo medidas fiscalizatórias e orientativas;
- a instituição de unidades de conservação, tais como as Áreas de Proteção Ambiental (APA) e reservas particulares do patrimônio natural (RPPN);
- o incentivo à conservação por meio de instrumentos sob o princípio “provedor-recebedor”, tal como o pagamento por serviços ambientais (PSA);
- o incentivo ao desenvolvimento do turismo sustentável, incluindo o turismo com foco ecológico na região do alto rio Miringuava e o turismo com foco rural na região do médio rio Miringuava.

Posteriormente, seguindo o segundo princípio da abordagem ecossistêmica interativa, propõe-se o incentivo à regularização ambiental de propriedades rurais, por meio da renaturalização de áreas naturais obrigatórias degradadas ou áreas de significativo valor ecossistêmico, tais como as áreas úmidas. Para essa tarefa sugere-se:

- a criação de um programa de recomposição de APP, reservas legais e áreas úmidas com apoio técnico e científico aos proprietários para a

proposição de melhores ações visando maximizar a promoção dos serviços ecossistêmicos advindos dessas áreas naturais;

- Incentivo ao cercamento das APP e reservas legais sujeitas ao pisoteamento por animais de criação;
- o incentivo à renaturalização e conservação por meio de instrumentos sob o princípio “provedor-recebedor”, tal como o pagamento por serviços ambientais (PSA).

Na sequência, a adoção de técnicas de agricultura com premissas de conservação do solo e da água é vantajoso não apenas para a promoção de serviços ecossistêmicos hídricos, mas também para a produtividade agrícola e ganho dos produtores rurais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região. Inclui-se neste quesito o incentivo à práticas de baixo carbono, tal como integração lavoura-pecuária-floresta (iLPF), sistemas agroflorestais (SAFs), sistema plantio direto (SPD) com técnicas mecânicas de conservação do solo e das águas, fixação biológica de nitrogênio (FBN), tal como já considerado e incentivado pelo programa de PSA desenvolvido na região (rever Quadro 6). Além disso, técnicas como hidroponia podem demonstrar melhor rentabilidade, com um menor uso do solo e das águas, evitando que as terras e recursos hídricos estejam sujeitos a contaminação por agrotóxicos e fertilizantes, sendo já desenvolvida por alguns produtores locais.

Um programa educativo e de apoio técnico aos agricultores pode ser fundamental para o desenvolvimento sustentável da atividade, visando mudar paradigmas onde técnicas convencionais e tradicionais são utilizadas através de gerações na agricultura familiar local. A disponibilização de crédito e financiamentos para atividades certificadas também pode ser um incentivo ao desenvolvimento de técnicas agrícolas promotoras de serviços ecossistêmicos.

Seguindo as premissas do quinto princípio da abordagem ecossistêmica interativa, por fim propõe-se o uso de infraestruturas cinzas e mistas ao longo da bacia hidrográfica buscando o complemento e otimização da promoção de serviços ecossistêmicos hídricos, tais como:

- Utilização da água de chuva no meio rural para uma mínima interferência nos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica, permitindo o acúmulo de água na bacia hidrográfica, auxiliando em parte no ciclo hidrológico por meio da redução do escoamento superficial;

- Criação de poços artesianos comunitários em pontos estratégicos para abastecimento das comunidades rurais e incentivos à regularização de cadastros de poços existentes para que o poder público e a sociedade possam ter dados disponíveis para estudos e gestão do uso de águas subterrâneas, uma vez que sua superexploração afeta também no ciclo hidrológico;
- Adoção de sistemas descentralizados de tratamento de esgotos sanitários domésticos no meio rural, incluindo infraestruturas cinzas e mistas, tais como biodigestores e *wetlands* em substituição às fossas sépticas comuns;
- Implantação de redes de coleta de esgotos sanitários e estação de tratamento para o bairro Del Rey e área urbana da Colônia Murici ou opções descentralizadas de tratamento baseadas em infraestrutura cinza e mista para garantia de infraestruturas de saneamento básico;
- Pavimentação dos passeios e ruas urbanas com material permeável e criação de sistemas de drenagem sustentável baseados em infraestruturas mistas, de maneira a aproveitar as oportunidades de pensar e executar infraestruturas mais amigáveis às funções ecossistêmicas em locais com disponibilidade de espaços livres;
- Revitalização das estradas rurais, incluindo o desenvolvimento de sistemas de drenagem e contenção da erosão e carreamento de resíduos das estradas para os corpos hídricos por meio de infraestruturas mistas, como soluções baseadas na natureza (jardins de chuva, bacias de retenção e contenção).

O Quadro 9 apresenta a relação das infraestruturas e ações sugeridas para conter os elementos estressores e otimizar os serviços ecossistêmicos hídricos na bacia de manancial do rio Miringuava. Uma importante ação sugerida é a educação técnica ambiental, que se refere à uma educação ambiental voltada ao desenvolvimento de melhores práticas de uso e conservação do solo visando também o aumento da produtividade e do desenvolvimento rural e social.

Quadro 9 – Sugestão de infraestruturas e ações para controle dos elementos estressores sobre a promoção de serviços ecossistêmicos hídricos no manancial Miringuava

<b>Elemento estressor</b>	<b>Infraestruturas para controle</b>	<b>Ações para controle</b>	<b>Zona de ocorrência*</b>
EST1 - Suscetibilidade de erosão do solo de áreas cultiváveis	Mistas (soluções baseadas na natureza com o manejo humano)	Adoção de técnicas mecânicas de conservação do solo e da água; Técnicas de agricultura inovadoras; educação técnica ambiental para a promoção do desenvolvimento sustentável da região.	1 e 2
EST2 – Intervenções em APP e reserva legal	Naturais (recuperação das áreas naturais obrigatórias), cinzas (cercamento nos limites de APP e reserva legal)	Recuperação de áreas degradadas; apoio técnico e científico aos proprietários para a proposição de melhores ações visando maximizar a promoção dos serviços ecossistêmicos.	1, 2 e 4
EST3 – Contaminação das águas por nutrientes e defensivos agrícolas	Mistas (soluções baseadas na natureza com o manejo humano)	Adoção de técnicas mecânicas de conservação do solo e da água; Técnicas de agricultura inovadoras e de baixo carbono; educação técnica ambiental para a promoção do desenvolvimento sustentável da região.	1 e 2
EST4 – Contaminação por efluentes e resíduos domésticos e agropecuários	Mistas (soluções baseadas na natureza com o manejo humano) e cinzas (estações de tratamento descentralizadas)	Educação técnica ambiental para a promoção do desenvolvimento sustentável da região; sistema de coleta de resíduos sólidos	1 e 2
EST5 – Intervenção em recursos hídricos superficiais para captação (nascentes e córregos)	Mistas e cinzas (captações de água da chuva e sistemas descentralizados de abastecimento público de água no meio rural)	Educação técnica ambiental para uso eficiente da água no meio rural, buscando a promoção do desenvolvimento sustentável da região.	1, 2 e 4
EST6 – Poluição difusa e carreamento de resíduos provenientes das estradas vicinais (não pavimentadas)	Mistas (sistemas de drenagem sustentável)	Conservação de estradas vicinais	1, 2 e 3
EST7 – Desmembramento de áreas rurais em chácaras de lazer	Naturais (conservação de áreas naturais), mistas e cinzas (tratamento de efluentes domésticos)	Educação técnica ambiental para a promoção do desenvolvimento sustentável da região; turismo sustentável.	1, 2 e 3
EST 8 – Crescimento de áreas urbanas periféricas sem infraestrutura de saneamento básico	Mistas (drenagem sustentável) e cinzas (captações de água da chuva, sistemas descentralizados de abastecimento público de água e tratamento de efluentes, pavimentação permeável)	Promoção das infraestruturas básicas urbanas e incentivos ao desenvolvimento social.	3

Fonte: elaboração própria.

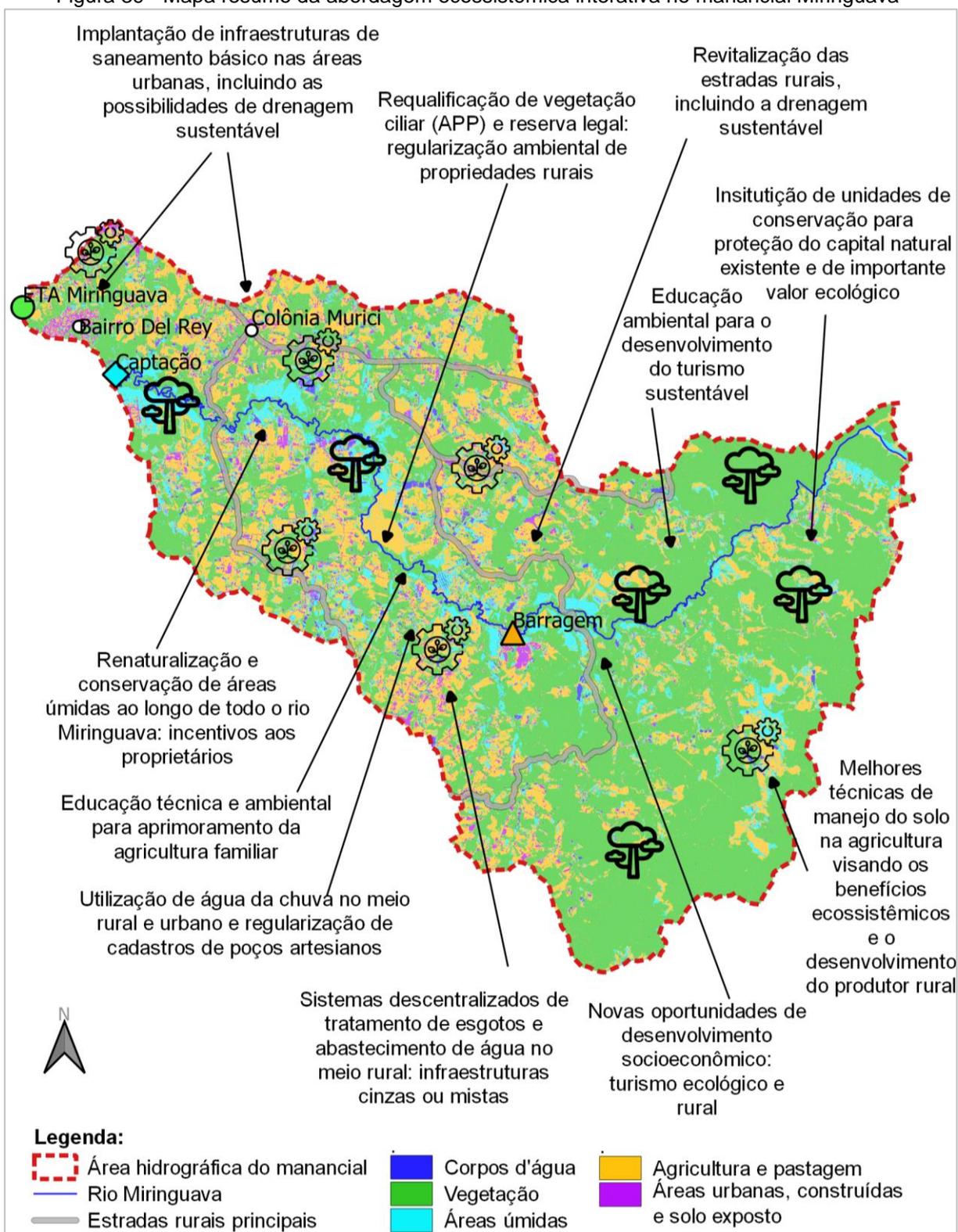
Observando as características atuais, o Quadro 10 apresenta as forças e fraquezas identificadas na área de estudo em relação ao desenvolvimento de serviços ecossistêmicos hídricos. Já em relação ao futuro, apresentam-se as oportunidades e as ameaças. Neste sentido, a Figura 39 busca traduzir os resultados da abordagem ecossistêmica interativa em um mapa ilustrativo da bacia hidrográfica do manancial Miringuava.

Quadro 10 – Forças, fraquezas, oportunidades e ameaças para a promoção de serviços ecossistêmicos hídricos no manancial do Miringuava

<b>Forças</b>	<b>Fraquezas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expressivas áreas naturais conservadas;</li> <li>• Adoção de técnicas de agricultura mais sustentáveis por parte de alguns produtores</li> <li>• Políticas instituídas de promoção dos serviços ecossistêmicos, tal como o programa de PSA e diretrizes de uso e ocupação do solo do plano diretor em consonância com os objetivos do manancial;</li> <li>• Infraestrutura cinza, composta por barragem de acumulação e regularização de vazões para a promoção de uma maior provisão hídrica para captação ao sistema de abastecimento público</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Técnicas de cultivo e uso do solo no meio rural sem premissas básicas de conservação do solo e das águas;</li> <li>• Carência de educação e apoio técnico para o desenvolvimento sustentável do meio agropecuário;</li> <li>• Falta de controle sobre a preservação de áreas naturais relevantes;</li> <li>• Precariedade das estradas rurais e meios de acesso no campo, com fenômenos de erosão;</li> <li>• Ausência de infraestruturas de saneamento básico nas áreas urbanas e rurais.</li> </ul>
<b>Oportunidades</b>	<b>Ameaças</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expressivas áreas naturais conservadas trazendo a oportunidade de conservação da infraestrutura natural;</li> <li>• Turismo sustentável;</li> <li>• Possibilidade de implantação de infraestruturas mistas, tais como as soluções baseadas na natureza para os novos sistemas de drenagem urbanas e rurais;</li> <li>• Área modelo/ escola para o desenvolvimento da gestão territorial integrada à gestão dos recursos hídricos visando o desenvolvimento sustentável da região.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expansão urbana da periferia de São José dos Pinhais sobre a área do manancial, sem o controle e promoção de infraestruturas urbanas básicas.</li> <li>• Dificuldades de governança e articulações entre os diversos atores sociais envolvidos para a promoção das ações voltadas à promoção dos serviços ecossistêmicos hídricos e o desenvolvimento sustentável da região.</li> </ul>

Fonte: elaboração própria.

Figura 39 - Mapa resumo da abordagem ecossistêmica interativa no manancial Miringuava



Fonte: Elaboração própria.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Retomando os objetivos desse trabalho, conclui-se que o estudo dos conceitos sobre abordagem ecossistêmica tradicional presentes na literatura, bem como a observação da necessidade de interação entre o capital natural e o capital construído, somado à necessidade de construção de uma abordagem mais compreensiva e didática, permitiu a fundamentação da abordagem ecossistêmica interativa para ser aplicada aos mananciais hídricos urbanos. Os conceitos tradicionais presentes na literatura trazem suas raízes das ciências naturais estando intrinsecamente vinculado ao desenvolvimento do capital natural, já a abordagem ecossistêmica interativa representa uma adaptação para o uso na engenharia e no planejamento das águas e dos territórios. Além disso, a aplicação da abordagem desenvolvida na área do manancial do rio Miringuava permitiu a sua experiência e viabilização de aplicação dos novos conceitos criados nesse trabalho: infraestruturas naturais, mistas, cinzas e a ideia de serviços ecoantrópicos.

As áreas de mananciais urbanos, localizados em regiões periurbanas, caracterizam-se por espaços de usos múltiplos do solo e conseqüentemente das águas. São sensíveis aos conflitos de uso e à degradação ambiental, devido à uma dinâmica de alteração de ocupação e uso do solo ao longo do tempo, incluindo a tendência de expansão da ocupação pela área urbana e desmembramento das propriedades rurais. Além da questão ambiental, a questão social está intrinsecamente relacionada a gestão das águas de mananciais periurbanos. Ao considerar que a principal finalidade de uma área de manancial é a garantia de provisão de água em quantidade e qualidade necessária ao atendimento do abastecimento público, não se deve considerar isso como uma verdade opressiva sobre os outros demais usos. Todos os usos do solo e da água são lícitos, desde que atendidas as diretrizes de zoneamento local, uma vez que todo um sistema socioeconômico existe e se desenvolve, sendo também de fundamental importância à metrópole, tal como a produção de alimentos e espaços de turismo e lazer.

A abordagem ecossistêmica interativa em mananciais hídricos deve orientar, então, a internalização de benefícios já prestados por aqueles que cuidam do solo e desenvolvem ações positivas à manutenção da qualidade e da provisão de água no manancial. Deve também observar as possibilidades de requalificação ou compensação em locais onde há desserviços ecossistêmicos, seja por meio de

infraestrutura natural, mista ou cinza, buscando a migração para a promoção de serviços ecossistêmicos. Além disso, sendo a água um bem comum, passível de conflitos, deve-se buscar maneiras de compensação ou benefícios àqueles que promovem os serviços ecossistêmicos por meio de práticas conservacionistas ou ações de menor impacto ambiental. Observa-se então a urgência de valorização dos serviços ecossistêmicos essenciais à metrópole e daqueles que trabalham para a sua promoção.

As cidades, sendo as principais fontes da demanda pelos serviços ecossistêmicos de água, são responsáveis, de certa forma, pelos conflitos de uso do solo e da água em áreas de mananciais. As relações urbano-rurais das regiões periurbanas compõe um cenário de produção e troca de diversos serviços ecossistêmicos essenciais a ambos, como a disponibilidade hídrica e de alimentos, além de serem áreas com forte pressão de expansão demográfica e locais para moradia, assim como observado na área do manancial do rio Miringuava.

Esse trabalho buscou apresentar um viés técnico conceitual para o planejamento de mananciais hídricos a partir de uma compreensão dos promotores de serviços ecossistêmicos, mas não intenta discutir toda a complexidade envolvida no planejamento e gestão das águas e do território, questões diversas que são necessárias para se ter, teoricamente, o controle dos mananciais. Os desafios da gestão das águas necessitam estar integradas à gestão do território e vice-versa, sendo a compreensão e a promoção de serviços ecossistêmicos (naturais ou antrópicos) uma das técnicas a ser utilizada.

A abordagem ecossistêmica interativa foi desenvolvida a partir de ideias próprias que surgiram da necessidade de uma interpretação mais compreensiva e didática dos benefícios ambientais advindos tanto dos ecossistemas naturais como das tecnologias humanas. Dessa maneira a abordagem ecossistêmica e instrumentos de gestão decorrentes desse conceito amplamente discutido na literatura não se limitam a ser desenvolvidos apenas onde há capital natural e podem auxiliar, de uma maneira mais dinâmica e simples, a selecionar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças em relação ao equilíbrio ambiental de áreas como mananciais hídricos superficiais buscando o aprimoramento dos serviços ecossistêmicos essenciais a sociedade. Pela facilidade de seu desenvolvimento, a abordagem ecossistêmica interativa pode ser realizada para um conjunto de áreas e comparadas entre si, dando diretrizes para a tomada de decisão e para o investimento em estudos mais avançados

sobre a compreensão da dinâmica dos ecossistemas e das influências dos usos e cobertura do solo sobre a provisão de serviços ecossistêmicos, de maneira a apoiar a seleção de infraestruturas e políticas de desenvolvimento.

Ademais, sua aplicação não se limita apenas às áreas de mananciais, mas pode, por exemplo, ser desenvolvida para a requalificação de bacias hidrográficas urbanas, para a redução de riscos de desastres e para o desenvolvimento sustentável de áreas rurais. A temática demanda desenvolvimento de pesquisas acadêmicas para aprofundamento e integração de esforços por parte do poder público regulador e a sociedade em geral. Sugere-se que, para cada ação ou inclusão de uma infraestrutura em meio urbano ou rural, seja avaliado sob o ponto de vista da abordagem ecossistêmica interativa qual é o papel dessa ação/infraestrutura enquanto promotora de serviços ou desserviços ecossistêmicos. Essa interpretação pode, ainda, compor a decisão de priorização da aplicação de recursos financeiros nas cidades e regiões.

Ao longo de toda a discussão referente ao aprimoramento de serviços ecossistêmicos em áreas de mananciais, um fator foi preponderante: o respeito ao ciclo hidrológico no ambiente e disso decorre as oportunidades inerentes na drenagem pluvial. Observa-se que a drenagem pluvial não é um fator de saneamento para ser aplicado apenas em áreas urbanizadas, mas também em áreas rurais e periurbanas, pois no caminho da água da chuva se encontra o carreamento de resíduos, como fragmentos de solo da erosão e pesticidas, caracterizando a poluição difusa que degrada continuamente os corpos hídricos. Além disso, no escoamento rápido da água da chuva reside a perda de água (quantidade) pela falta de seu armazenamento no solo. O ciclo hidrológico deve ser resgatado e aprimorado sob a perspectiva da drenagem sustentável: redução do escoamento superficial e armazenamento da água (infiltração). Neste quesito as bacias hidrográficas periurbanas, sejam elas de mananciais ou não, necessitam tanto de um plano e gestão de drenagem sustentável quanto as bacias totalmente urbanizadas. Esse olhar de priorização de infraestruturas sobre as bacias periurbanas pode lhes proporcionar um processo e um fim diferente do que se observa ao longo de muitas décadas sobre as bacias urbanas e periurbanas degradadas.

Ainda neste quesito o valor dos serviços ecossistêmicos deve ser explícito e compreendido pela sociedade. Este valor não se refere apenas à questão monetária, a qual dedica-se a economia ambiental por meio de diversos métodos de valoração econômica, mas também pela compreensão da dependência da sociedade sobre a

provisão e manutenção desses serviços, adotando um olhar mais maduro sobre os riscos envolvidos na crise hídrica. Dessa maneira, a abordagem ecossistêmica interativa pode ser utilizada como apoio na seleção e priorização de recursos para infraestruturas. No caso da área de estudo deste trabalho, uma vez que a gestão das águas não cabe aos municípios, mas sim ao poder do Estado e da União, observa-se a necessidade de um esforço sério entre o conselho dos municípios da região metropolitana e o governo estadual para a coleta e alocação de recursos visando a conservação dos mananciais em conjunto com o desenvolvimento sustentável local.

Com um recurso escasso, a metrópole deve então cuidar dos mananciais que possui dentro de seu território ou fora dele, buscando gerenciar os diversos conflitos que colocam em risco a integridade dos serviços ecossistêmicos de provisão e manutenção da qualidade da água. A bacia do Miringuava é um exemplo de área periurbana com grande potencial para implantação de medidas de gestão pautadas na gestão conjunta das águas e do território. Possui significativas áreas naturais conservadas, uma nova infraestrutura cinza (barragem) que precisa ter a garantia da qualidade da água para que os benefícios sociais sejam maiores do que os custos ambientais e sociais de sua instalação; e pequenas áreas urbanas que necessitam de atenção para inclusão de infraestrutura e controle de expansão. São muitas oportunidades de participação para proposições e ações de desenvolvimento sustentável. Ela pode ser a bacia de manancial-escola pela qual a sociedade pode fazer diferente do que foi observado nos demais mananciais periurbanos de Curitiba que se encontram degradados ou com diversos fatores prejudiciais à provisão dos serviços ecossistêmicos essenciais. Além disso, observou-se a existência de base legal para atendimento das premissas de cuidado com o manancial, incluindo planos de controle territorial, a priorização de infraestruturas básicas como condicionante para novas ocupações e premissas de drenagem sustentável. O desafio está no aprofundamento e desenvolvimento efetivo dessas políticas.

No capítulo 4.1 foi apresentado os fundamentos básicos da abordagem ecossistêmica e como este tema se aproxima da economia ambiental. Constanza et al (1997) nos apresenta que os serviços ecossistêmicos fornecem uma parte importante de contribuição para o bem-estar humano no planeta e por isso devemos dar valor ou peso adequado aos ecossistemas nos processos de tomada de decisão para se evitar os efeitos drásticos que a sua perda pode causar no bem-estar humano. Sobre este assunto recai também a sugestão de estudos futuros que podem adotar a

própria bacia do rio Miringuava ou outros mananciais de abastecimento: a valoração econômica dos serviços ecossistêmicos (naturais ou antrópicos, seguindo as contribuições conceituais deixadas por este trabalho) que são essenciais para a segurança hídrica das cidades e das populações locais, considerando quem são os provedores (ou promotores) e quem são aqueles que se beneficiam, dando base para uma estruturação mais fundamentada de instrumentos de gestão tais como provedor-recebedor, usuário-pagador ou poluidor-pagador. Tais estudos econômicos poderão fundamentar melhores sistemas de pagamentos por serviços ambientais ou outros meios de valorização e promoção da integridade dos serviços ecossistêmicos.

A valorização dos serviços ecossistêmicos, podendo ser motivada ou não pela valoração econômica, é um aspecto importante da abordagem ecossistêmica e fator preponderante para apoiar as decisões entre os gestores territoriais. Essa valorização deve considerar não apenas os benefícios advindos do capital natural, mas igualmente os aqueles provenientes do capital humano construído e das melhores práticas desenvolvidas. Nisso consiste o desafio constante de internalização das externalidades positivas como uma maneira de impulsionar o desenvolvimento sustentável.

Outra consideração final necessária remete ao fato de que na abordagem ecossistêmica interativa reside o princípio de hierarquia e evolução: começa-se pelo mais simples e evolui ao longo do tempo visando a otimização constante dos benefícios sociais não apenas para quem consome como para quem produz os serviços ecossistêmicos. As mudanças ocorrem gradativamente em um longo prazo e precisam ser constantemente motivadas, embora o controle sobre a conservação dos serviços existentes demande ações imediatas. Dessa maneira, por exemplo, é que a mudança das formas de trabalho de um agricultor que cultiva de maneira tradicional, sem técnicas de conservação do solo e das águas, deve considerar que o processo de melhoria de seu cultivo ocorrerá gradativamente e necessita representar um ganho em sua produtividade, no seu rendimento econômico e em sua qualidade de vida enquanto se produz serviços ecossistêmicos. A educação e a difusão cultural do conhecimento sobre melhores práticas de uso e cultivo da terra pode ser um ponto importante para o aprimoramento final da qualidade dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica que tenha entre seus usos do solo a agricultura, residindo no cultivo familiar e nas pequenas propriedades rurais um potencial para tal desenvolvimento. Sobre este assunto há a oportunidade e necessidade de pesquisas futuras no campo

das ciências sociais sobre o processo social de adoção e desenvolvimento de práticas agrícolas, observando porque práticas tradicionais, muitas vezes trazidas pela mesma forma de cultivo de antepassados, permanece entre gerações e encontra barreiras para serem aprimoradas, perdendo oportunidades de melhores benefícios tanto para os agricultores como para a sociedade que se beneficia dos serviços ecossistêmicos.

Dessa maneira, diversas opções de trabalhos futuros surgem com a conclusão deste trabalho, incluindo o enfoque sobre como a participação social pode ocorrer no processo de planejamento com a abordagem ecossistêmica interativa em todas as suas etapas. A educação também demonstra ser um fator fundamental e passível de ser explorado em trabalhos futuros que envolvam a abordagem ecossistêmica interativa visando, ao mesmo tempo, o ganho de serviços ecossistêmicos hídricos e o desenvolvimento de melhores técnicas de uso e conservação do solo, o que consequentemente se traduz em ganhos na produtividade e melhorias na qualidade de vida da população agrícola, responsáveis também pelo serviço de provisão de alimentos à metrópole. A respeito da área de estudo utilizada para exemplificação da abordagem criada, também pode haver estudos futuros para um diagnóstico crítico do planejamento e gestão dos recursos hídricos realizados na bacia do rio Miringuava além de comparações com o histórico de evolução da degradação dos demais mananciais da RMC.

Por fim, o campo de desenvolvimento de infraestruturas mistas e naturais ainda é incipiente no Brasil e em países em desenvolvimento, segundo análise feita por Tavares, Bergier e Guaraldo (2021). Considerando que um planejamento estratégico dessas infraestruturas e incentivos à melhores ações de uso do solo podem aprimorar o fornecimento de múltiplos serviços ecossistêmicos essenciais ao desenvolvimento das cidades e regiões periurbanas, observa-se que essa temática possui potencial para ser integrada à gestão territorial em um processo “de fora para dentro das cidades”, buscando desenvolver a partir da periferia ações de conservação do capital natural ou instalação de infraestruturas e ações inovadoras (com foco nas infraestruturas mistas e cinzas inovadoras). Dessa maneira objetiva-se fazer o caminho inverso daquele que levou a degradação e a perda de muitos mananciais hídricos, onde nem mesmo condições adequadas de uso e ocupação do solo foram promovidas havendo múltiplos desserviços ecossistêmicos e custos sociais. A graduação da abordagem ecossistêmica interativa, desde o objetivo primordial de conservação, passando pela recuperação e revitalização, a aplicação de tecnologias

e conhecimentos baseados nas funções da natureza e tecnologias cinzas pode redesenhar melhores usos e benefícios das áreas periurbanas. Nesse sentido os espaços urbanos e periurbanos precisam ser funcionais e adaptativos para um benefício social holístico.

## 7 REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (ANA). **Programa Produtor de Água**. Brasília, 2008. Disponível em: <<http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/documentos/Folder%20-%20Programa%20Produtor%20de%20%C3%81gua.pdf>>. Acesso em 20 ago. 2022.
- Agência Nacional de Águas (ANA). **Programa Produtor de Água**. Página on-line do programa. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programa-produtor-de-agua>>. Acesso em 20 ago. 2022.
- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Sistema Cantareira (SP) volta a operar na faixa de alerta em julho. 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/noticias-e-eventos/noticias/sistema-cantareira-sp-volta-a-operar-na-faixa-de-alerta-em-julho>>. Acesso em 07 jul. 2022.
- ANDERSSON, E. et al. Reconnecting cities to the biosphere: Stewardship of green infrastructure and urban ecosystem services. **Ambio**, v. 43, n. 4, p. 445–453, 2014.
- BENEDICT, M. A.; MACMAHON, E. T. Green infrastructure: Smart conservation for the 21st century. **Renewable Resources Journal**, v. 20, n. 3, p. 12–17, 2002.
- BENNETT, Elena M; PETERSON, Garry D; GORDON, Line J. Understanding relationships among multiple ecosystem services. **Ecology Letters**, vol. 12, n. 12, 2009. Disponível em: < <https://doi-org.ez433.periodicos.capes.gov.br/10.1111/j.1461-0248.2009.01387.x>>. Acesso em 17/08/2020.
- BEZERRA, Aline Pessoa; VIEIRA, Zédna Mara de Castro Lucena; RIBEIRO, Márcia Maria Rios. Water governance assessment at diferente scales: a reservoir case study in the Brazilian semiarid region. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Vol. 26, 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120200171>>. Acesso em 03 mar. 2022.
- BOIX-FAYOS, C. et al. Mountain ecosystem services affected by land use changes and hydrological control works in Mediterranean catchments. **Ecosystem Services**, v. 44, 2020.
- BRASIL. **Lei Federal n. 9.433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Publicado no Diário Oficial da União de 9 de janeiro de 1997. Disponível em:< [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm)>. Acesso em 10 out. 2016.
- BREARS, R. C. Blue and green cities: The role of blue-green infrastructure in managing urban water resources. [s.l: s.n.].
- BURKHARD, B. et al. Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. **Ecological Indicators**, v. 21, p. 17–29, 1 out. 2012.
- BUTZKE, Alindo. As matas ciliares e seu significado ambiental. In: RECH, Adir Ubaldo; ALTMANN, Alexandre (org.). **Pagamento por serviços ambientais: imperativos jurídicos e ecológicos para a preservação e a restauração das matas ciliares**. Caxias do Sul: Educs, 2009. 168p.

CAMERON, R. W. F. et al. The domestic garden - Its contribution to urban green infrastructure. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 11, n. 2, p. 129–137, 2012.

CAMERON, R. W.; BLANUŠA, T. Green infrastructure and ecosystem services - is the devil in the detail? **Annals of botany**, v. 118, n. 3, p. 377–391, 2016.

CAMPS-CALVET, M. et al. Ecosystem services provided by urban gardens in Barcelona, Spain: Insights for policy and planning. **Environmental Science and Policy**, v. 62, p. 14–23, 2016.

CAVALCANTI, Bianor Scelza; MARQUES, Guilherme R. Garcia. Recursos hídricos e gestão de conflitos: a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, vol. 15, n. 1, 2016. Disponível em: <[http://www.scielo.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1645-44642016000100002&lang=pt](http://www.scielo.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1645-44642016000100002&lang=pt)>. Acesso em 03 mar. 2022.

CBD - Convention on Biological Diversity. **Ecosystem Approach Principles**. Disponível em: <<http://www.cbd.int/ecosystem/principles.shtml>>. Acesso em 7 nov. 2014.

CGMRMC – Conselho Gestor de Mananciais da Região Metropolitana de Curitiba. **Resolução n. 03/2016**. Disponível em: <[https://www.comec.pr.gov.br/sites/comec/arquivos\\_restritos/files/documento/2019-11/resolucao\\_03\\_2016.pdf](https://www.comec.pr.gov.br/sites/comec/arquivos_restritos/files/documento/2019-11/resolucao_03_2016.pdf)>. Acesso em 06 set. 2021.

CHICHILNISKY, Graciela; HEAL, Geoffrey. Economic returns from the biosphere - commentary. **Nature**. v.391, n. 6668, p. 629 – 630, 1998.

CHRISTOFF, Luis Gustavo. A gestão dos recursos hídricos como condicionante para os processos de ocupação urbana: estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Piraquara, Paraná. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Gestão Urbana. PUCPR, 2018.

Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR). **Plano Diretor do Sistema de Abastecimento de Água Integrado de Curitiba e Região Metropolitana**. Curitiba: Sanepar, 2013.

Convention on Biological Diversity (CBD). **COP 5 - Fifth Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity**, Decision V/6. Nairobi, Kenya, 2000. Disponível em: <<https://www.cbd.int/decision/cop/?id=7148>> . Acesso em 15 abr. 2020

Convention on Biological Diversity (CBD). **COP 7 - Seventh Ordinary Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity**, Decision VII/11. Kuala Lumpur, Malaysia, 2004. Disponível em: <<https://www.cbd.int/decision/cop/?id=7148>> . Acesso em 15 abr. 2020

COSTANZA, R.; DALY, H. E. Natural Capital and Sustainable Development. **Conservation Biology**, v. 6, n. 1, p. 37–46, 1992.

COSTANZA, Robert; d'Arge, Ralph; Groot, Rudolf de; Farberk, Stephen; Grasso, Monica; Hannon, Bruce; Limburg, Karin; Naeem, Shahid; O'Neill, Robert V.; Paruelo, Jose; Raskin, Robert G.; Suttonkk, Paul; Belt, Marjan van den. The value of the

world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, vol. 387, 1997. Disponível em: < <https://www.nature.com/articles/387253a0>>. Acesso em 23 fev. 2020.

COSTANZA, Robert; GROOT, Rudolf de; BRAAT, Leon; KUBISZEWSKI, Ida; FIORAMONTI, Lorenzo; SUTTON, Paul; FARBER, Steve; GRASSO, Monica. Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, vol. 28, part A, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>>. Acesso em 17/08/2020.

COUTTS, A. M. et al. Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. **Progress in Physical Geography**, v. 37, n. 1, p. 2–28, 2013.

COUTTS, C.; HAHN, M. Green infrastructure, ecosystem services, and human health. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 8, p. 9768–9798, 2015.

CROSSMAN, N. D. et al. A blueprint for mapping and modelling ecosystem services. **Ecosystem Services**, v. 4, p. 4–14, 2013.

DAILY, G. C. et al. Ecosystem services in decision making: Time to deliver. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 7, n. 1, p. 21–28, 2009.

DE OLIVEIRA, L. M.; MAILLARD, P.; DE ANDRADE PINTO, E. J. Application of a land cover pollution index to model non-point pollution sources in a Brazilian watershed. **Catena**, v. 150, p. 124–132, 2017.

DÖHREN, Peer Von; HAASE, Dagmar. Ecosystem disservices research: a review of the state of the art with a focus on cities. **Ecological indicators**, vol. 52, 2015. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.12.027>>. Acesso em 17/08/2020.

DUTTA, R.; DAS, A.; ARYAL, J. Big data integration shows Australian bush-fire frequency is increasing significantly. **Royal Society Open Science**, v. 3, n. 2, 2016.

EEKHOUT, J. P. C. et al. The impact of reservoir construction and changes in land use and climate on ecosystem services in a large Mediterranean catchment. **Journal of Hydrology**, v. 590, 2020.

EGGERMONT, H. et al. Nature-based solutions: New influence for environmental management and research in Europe. **GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society**, v. 24, n. 4, p. 243–248, 2015.

ENGEL, Stefanie.; PAGIOLA, Stefano.; WUNDER, Sven. Designing payments for environmental services in theory and practice: An overview of the issues. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, p. 663-674, 2008.

ESCOBEDO, F. J. et al. Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 37, p. 3–12, 2019.

FOGGIATO, Fernanda. Crise hídrica: afinal, estamos enfrentando a pior seca da história? Notícias da Câmara Municipal de Curitiba, 2020. Disponível em:

<<https://www.curitiba.pr.leg.br/informacao/noticias/crise-hidrica-i-afinal-estamos-enfrentando-a-pior-seca-da-historia>>. Acesso em 03 mar. 2022.

FONTÃO, Pedro Augusto Breda; ZAVATTINI, João Afonso. A 'crise hídrica' na região metropolitana de São Paulo: análise da variabilidade pluvial e a repercussão hídrica no sistema Cantareira. **Estudos Geográficos**, Rio Claro, 17 (1): 43-54, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.5016/estgeo.v17i1.14088>> Acesso em 03 mar. 2022.

FRANTZESKAKI, N. Seven lessons for planning nature-based solutions in cities. **Environmental Science and Policy**, v. 93, p. 101–111, 2019.

GALLUPPI-SELICH, T. et al. Análisis de la función ecosistémica “protección de acuíferos por cobertura vegetal” en la Reserva de Biósfera del Bosque Mbaracayú (Canindeyú, Paraguay). **Revista de la Sociedad Científica del Paraguay**, v. 24, n. 1, p. 99–113, 2019.

GAO, Y. et al. Building check dams systems to achieve water resource efficiency: Modelling to maximize water and ecosystem conservation benefits. **Hydrology Research**, v. 51, n. 6, p. 1409–1436, 2020.

GARCIAS, CARLOS MELLO. Notas de aula (informação verbal), 2019.

GARCIAS, Carlos Mello; BERTOLINO, Alessandro; CIDREIRA, Liz Ehke; CASTRO, Stéphanie Louise Inácio. **Revitalização do rio Belém**. Meu rio: minha vida. In: BRUN, Gerti Weber; PINILLA, María Claudia Campos (editoras). Aportes técnicos y formativos para el uso sostenible de los recursos hídricos em América Latina. 1ª edição. Editorial Pontificia Universidad Javeriana: Bogotá, 2016, p. 72-96.

GARCIAS, Carlos Mello; SANCHES, R M . Vulnerabilidades Socioambientais e as disponibilidades hídricas urbanas: estudo de caso região metropolitana de Curitiba. **Risco** (São Carlos), v. 10, p. 1-20, 2010.

GHOFRANI, Zahra; SPOSITO, Victor; FAGGIAN, Robert. A comprehensive review of blue-green infrastructure concepts. **International Journal of Environment and Sustainability**, vol. 6, n. 1, p. 15-36, 2017.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6ª edição, São Paulo: Editora Atlas, 2008.

GILL, A. M. Fire and the australian flora: A review. **Australian Forestry**, v. 38, n. 1, p. 4–25, 1975.

GILL, S. E. et al. Adapting cities for climate change: The role of the green infrastructure. **Built Environment**, v. 33, n. 1, p. 115–133, 2007.

GÓMEZ, R.; FLORES, F. Agricultura y servicios ecosistémicos: el caso del espárrago en Ica TT - Agriculture and Ecosystem Services: A Case Study of Asparagus in Ica, Peru. **Apuntes**, v. 42, n. 77, p. 9–55, 2015.

GÓMEZ-BAGGETHUN, Erik; BARTON, David N. Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. **Ecological economics**, vol. 86, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>>. Acesso em 17/08/2020.

GORDON, L. J.; FINLAYSON, C. M.; FALKENMARK, M. Managing water in agriculture for food production and other ecosystem services. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 4, p. 512–519, 2010.

GREEN, P. A. et al. Freshwater ecosystem services supporting humans: Pivoting from water crisis to water solutions. **Global Environmental Change**, v. 34, p. 108–118, 2015.

GUEDES, Fátima Becker; SEHUSEN, Susan Edda (Org.). **Pagamentos por Serviços Ambientais na Mata Atlântica: lições aprendidas e desafios**. Brasília: MMA, 2011.

GUNAWARDENA, K. R.; WELLS, M. J.; KERSHAW, T. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. **Science of the Total Environment**, v. 584–585, p. 1040–1055, 2017.

HAASE, D. Reflections about blue ecosystem services in cities. **Sustainability of Water Quality and Ecology**, v. 5, p. 77–83, 2015.

HANSEN, R.; PAULEIT, S. From multifunctionality to multiple ecosystem services? A conceptual framework for multifunctionality in green infrastructure planning for Urban Areas. **Ambio**, v. 43, n. 4, p. 516–529, 2014.

HATFIELD, J. L. Environmental impact of water use in agriculture. **Agronomy Journal**, v. 107, n. 4, p. 1554–1556, 2015.

HELMS, Marilyn M. NIXON, Judy. Exploring SWOT analysis – Where are we now? A review of academic research from the last decade. **Journal of Strategy and Management**, vol. 3, n. 3, p. 215–251, 2010. Disponível em: <<https://www-emerald.ez433.periodicos.capes.gov.br/insight/content/doi/10.1108/17554251011064837/full/html>>. Acesso em 03 mar 2022.

HOOVER, F.-A.; HOPTON, M. E. Developing a framework for stormwater management: leveraging ancillary benefits from urban greenspace. **Urban Ecosystems**, v. 22, n. 6, p. 1139–1148, 2019.

HUGHES, L. Climate change and Australia: Trends, projections and impacts. **Austral Ecology**, v. 28, n. 4, p. 423–443, 2003.

IAT – Instituto Água e Terra. Outorgas emitidas. Disponível em: <<https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Consultar-outorgas>>. Acesso em 20 jul. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Censo demográfico 2010: resultados do universo por setores censitários**. IBGE, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/painel/?nivel=st>>. Acesso em 15 jun. 2022.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Catálogo de imagens. INPE, 2021. Disponível em: <<http://www2.dgi.inpe.br/catalogo/explore>>. Acesso em 17 fev. 2022.

JACOBI, Pedro Roberto; BUCKERIDGE, Marcos; RIBEIRO, Wagner Costa. Governança da água na Região Metropolitana de São Paulo – desafios à luz das mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, vol. 35 (102), 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2021.35102.013>>. Acesso em 03 mar. 2022.

JIMENEZ-CISNEROS, B. Responding to the challenges of water security: the eighth phases of the International Hydrological Programme. *Hydrological Sciences and Water Security: Past, Present and Future*. **IAHS Publication**, v. 366, p. 10-19, 2015. Disponível em: < <https://d-nb.info/1142928624/34>> . Acesso em 05 ago. 2020.

JURCZAK, T. et al. Hybrid system for the purification of street stormwater runoff supplying urban recreation reservoirs. **Ecological Engineering**, v. 110, p. 67–77, 2018.

KABISCH, N. et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: Perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. **Ecology and Society**, v. 21, n. 2, 2016.

KESSES, S. et al. The superior effect of nature based solutions in land management for enhancing ecosystem services. **Science of the Total Environment**, v. 610–611, p. 997–1009, 2018.

KFOURI, Adriana; FAVERO, Fabiana. **Projeto Conservador das Águas Passo a Passo: Uma Descrição Didática sobre o Desenvolvimento da Primeira Experiência de Pagamento por uma Prefeitura Municipal no Brasil**. 1ª edição, Brasília: The Nature Conservancy do Brasil, 2011. 58 p.

KOBIYAMA, Masato; MICHEL, Gean Paulo; ENGSTER, Elisiele Cardozo. Ruralização para a gestão de recursos hídricos em área urbana: aplicação de hidrologia. In: LADWIG, Nilzo Ivo; SCHWALM, Hugo. **Planejamento e Gestão Territorial: hidrografia e sustentabilidade**. Editora Insular: Florianópolis, 2016.

KRAUZE, K.; WAGNER, I. From classical water-ecosystem theories to nature-based solutions — Contextualizing nature-based solutions for sustainable city. **Science of the Total Environment**, v. 655, p. 697–706, 2019.

KULLER, M. et al. Framing water sensitive urban design as part of the urban form: A critical review of tools for best planning practice. **Environmental Modelling and Software**, v. 96, p. 265–282, 2017.

KULLER, M.; REID, D. J.; PRODANOVIC, V. Are we planning blue-green infrastructure opportunistically or strategically? Insights from Sydney, Australia. **Blue-Green Systems**, v. 3, n. 1, p. 267–280, 2021.

LAFORTEZZA, R. et al. Green infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. **IForest**, v. 6, n. 1, p. 102–108, 2013.

LAMOND, J.; EVERETT, G. Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship. **Landscape and Urban Planning**, v. 191, 2019.

LANGERGRABER, G. et al. Implementing nature-based solutions for creating a resourceful circular city. **Blue-Green Systems**, v. 2, n. 1, p. 173–185, 2020.

LAWSON, E. et al. Delivering and evaluating the multiple flood risk benefits in Blue-Green cities: An interdisciplinary approach. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 184, p. 113–124, 2014.

LEHMANN, S. Growing biodiverse urban futures: Renaturalization and rewilding as strategies to strengthen urban resilience. **Sustainability** (Switzerland), v. 13, n. 5, 2021b.

LEHMANN, S. Nature in the Urban Context: Renaturalisation as an Important Dimension of Urban Resilience and Planning | La naturaleza en el contexto urbano: La renaturalización como una dimensión importante de la resistencia y la planificación urbana. **Modulo Arquitectura CUC**, v. 26, p. 161–190, 2021a.

LLOYD, S.; WONG, T. H. F.; CHESTERFIELD, C. J. **Water Sensitive Urban Design**: a stormwater management perspective. Melbourne Water Corporation, 2002.

LOVELL, S. T.; TAYLOR, J. R. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. **Landscape Ecology**, v. 28, n. 8, p. 1447–1463, 2013.

LYYTIMÄKI, Jari; SIPILÄ, Maija. Hopping on one leg – the challenge of ecosystem disservices for urban green management. **Urban Forestry & Urban Greening**, vol. 8, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2009.09.003>>. Acesso em 17/08/2020.

MAES, J. et al. Mapping ecosystem services for policy support and decision making in the European Union. **Ecosystem Services**, v. 1, n. 1, p. 31–39, 2012.

MAKARIGAKIS, A. K.; JIMENEZ-CISNEROS, B. E. UNESCO's contribution to face global water challenges. **Water** (Switzerland), v. 11, n. 2, 2019.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos da metodologia científica**. 9ª edição, São Paulo: Atlas, 2022.

MARTIRANI, Laura Alves. PERES, Isabela Kojin. Water crisis in São Paula: News coverage, public perception and the right to information. **Ambiente & Sociedade**, vol. 19 (1), 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150111R1V1912016>>. Acesso em 03 mar. 2022.

MARTNEZ-HARMS, M. J.; BALVANERA, P. Methods for mapping ecosystem service supply: A review. International Journal of Biodiversity Science, **Ecosystem Services and Management**, v. 8, n. 1–2, p. 17–25, 2012.

MAZZARINO, Jane M; TURATTI, Luciana; PETTER, Sabrina T; SCHEIBE, Denise B; MARQUES, Rodrigo M. Information about the water crisis in São Paulo offered by the watershed committees. **Ambiente & Sociedade**, vol. 22, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc20170210r1vu2019L2AO>>. Acesso em 03 mar. 2022.

MEA – Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis**. World Resource Institute. Washington: Island Press, 2005 (b). Disponível em: <<http://www.millenniumassessment.org/en/Synthesis.html>>. Acesso em 18 abr. 2016.

MEA – Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Their Services. In: MEA. **Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment**. World Resource Institute. Washington: Island Press, 2005 (a). Disponível em:

<<http://www.millenniumassessment.org/en/Framework.html>>. Acesso em 18 abr. 2016.

MEEROW, S.; NEWELL, J. P. Spatial planning for multifunctional green infrastructure: Growing resilience in Detroit. **Landscape and Urban Planning**, v. 159, p. 62–75, 2017.

MICHAELIS. Dicionário Brasileira da Língua Portuguesa. Editora Melhoramentos, 2022. Disponível em: <<https://michaelis.uol.com.br/moderno-portugues/busca/portugues-brasileiro/ecossistema/>>. Acesso em 18 jul. 2022.

MITCHELL, G. Mapping hazard from urban non-point pollution: A screening model to support sustainable urban drainage planning. **Journal of Environmental Management**, v. 74, n. 1, p. 1–9, 2005.

MOMM, Sandra; TRAVASSOS, Luciana. Caminhos da sustentabilidade urbana: conceitos, técnicas e abordagens na interface entre recursos hídricos e planejamento territorial. In: LADWIG, Nilzo Ivo; SCHWALM, Hugo. **Planejamento e Gestão Territorial: hidrografia e sustentabilidade**. Editora Insular: Florianópolis, 2016.

MOMM, Sandra; TRAVASSOS, Luciana; RAMALHO, Paula; ZIONI, SILVANA. Permanência e transição no planejamento e a crise hídrica na Região Metropolitana de São Paulo. **EURE** (Santiago), vol. 47, n. 140, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7764/eure.47.140.10>>. Acesso em 01 mar. 2022.

MORIOKA, Sandra Naomi; CARVALHO, Marly Monteiro de. Sustentabilidade e gestão de projetos: um estudo bibliométrico. **Production**, 26(3), 656-674, 2016.

MULLIGAN, J. et al. Hybrid infrastructures, hybrid governance: New evidence from Nairobi (Kenya) on green-blue-grey infrastructure in informal settlements: “Urban hydroclimatic risks in the 21st century: Integrating engineering, natural, physical and social sciences to build. **Anthropocene**, v. 29, 2020.

MUNAFÒ, M. et al. River pollution from non-point sources: A new simplified method of assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 77, n. 2, p. 93–98, 2005.

MURADIAN, R., CORBERA, E., PASCUAL U., KOSOY N., MAY P.H. Reconciling theory and practice: an alternative conceptual framework for understanding payments for environmental services. **Ecological Economics**. 69 (6), p. 1202-1208, 2010.

NAIDOO, R. et al. **Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. 28, p. 9495–9500, 2008.

NESSHÖVER, C. et al. The science, policy and practice of nature-based solutions: An interdisciplinary perspective. **Science of the Total Environment**, v. 579, p. 1215–1227, 2017.

NEVES, Anderson de Oliveira; VILANOVA, Mateus Ricardo Nogueira. Caracterização da seca histórica da década de 2010 na bacia do rio Paraíba do Sul, Estado de São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Vol. 26 (2), 2021.

Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190023>>. Acesso em 03 mar. 2022.

NOBRE, Gustavo Cattelan; TAVARES, B. Elaine. Scientific literature analysis on big data and internet of things applications on circular economy: a bibliometric study. **Scientometrics**, 111(1), 463-492, 2017.

NORTON, B. A. et al. Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. **Landscape and Urban Planning**, v. 134, p. 127–138, 2015.

O'BRIEN, G. C.; WEPENER, V. Regional-scale risk assessment methodology using the Relative Risk Model (RRM) for surface freshwater aquatic ecosystems in South Africa. **Water SA**, v. 38, n. 2, p. 153–166, 2012.

OLIVEIRA, L.; MAILLARD, P.; ANDRADE PINTO, E. Application of a land cover pollution index to model non-point pollution sources in a Brazilian watershed. **Catena**, v. 150, p. 124-132, 2017.

OMORI, Y. Preference heterogeneity of coastal gray, green, and hybrid infrastructure against sea-level rise: A choice experiment application in Japan. **Sustainability** (Switzerland), v. 13, n. 16, 2021.

Organização das Nações Unidas - ONU. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Tradução do texto original da ONU (2015) pelo Ministério do Desenvolvimento Social, 2016. Disponível em: <[http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/brasil\\_amigo\\_pesso\\_idosa/Agenda2030.pdf](http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/brasil_amigo_pesso_idosa/Agenda2030.pdf)>. Acesso em 20 dez. 2020.

Organização das Nações Unidas (ONU). **The United Nations World Water Development Report 2021: Valuing Water**. UNESCO, Paris. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>>. Acesso em 07 jul. 2022.

Organização das Nações Unidas (ONU). **The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible**. UNESCO, Paris. Disponível em: <<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380721>>. Acesso em 07 jul. 2022.

Organização das Nações Unidas (ONU). **The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Paris, UNESCO. Disponível em: < <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261424>>. Acesso em 07 jul. 2022.

OUYANG, Z. et al. Improvements in ecosystem services from investments in natural capital. **Science**, v. 352, n. 6292, p. 1455–1459, 2016.

PARANÁ. **Decreto estadual n. 10.499/2022**. Regulamenta o ordenamento territorial das áreas de mananciais de abastecimento público situadas na Região Metropolitana de Curitiba. Disponível em: <[https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos\\_restritos/files/documento/2022-03/10499.pdf](https://www.aen.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-03/10499.pdf)>. Acesso em 20 jul. 2022.

PARANÁ. **Decreto n. 4435 de 29 de junho de 2016**. Declara as Áreas de Interesse de Mananciais de Abastecimento Público da Região Metropolitana de Curitiba e dá

outras providências. Disponível em:

<[https://www.comec.pr.gov.br/sites/comec/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-08/decreto\\_4435\\_2016.pdf](https://www.comec.pr.gov.br/sites/comec/arquivos_restritos/files/documento/2020-08/decreto_4435_2016.pdf)>. Acesso em 06 set. 2021.

PARANÁ. **Lei ordinária n. 12.248**, de 31 de julho de 1998. Cria o sistema integrado de gestão e proteção dos mananciais da RMC. Disponível em:<

[https://www.comec.pr.gov.br/sites/comec/arquivos\\_restritos/files/documento/2019-11/leiestadual\\_12248\\_98.pdf](https://www.comec.pr.gov.br/sites/comec/arquivos_restritos/files/documento/2019-11/leiestadual_12248_98.pdf)>. Acesso em 05 set. 2021.

PIRES, M. Watershed protection for a world city: The case of New York. **Land Use Policy**, v. 21, n. 2, p. 161–175, 2004.

PISARSKI JUNIOR, Marcos Roberto. **Tradição alimentar polonesa e suas interfaces com o turismo no Distrito de Colônia Murici**, São José dos Pinhais/PR. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, 2019.

POSTEL, S. L.; THOMPSON JR., B. H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. **Natural Resources Forum**, v. 29, n. 2, p. 98–108, 2005.

RADINJA, M.; ATANASOVA, N.; ZAVODNIK LAMOVŠEK, A. The water-management aspect of blue-green infrastructure in cities. **Urbani Izziv**, v. 32, n. 1, p. 98–110, 2021.

RAYMOND, C. M. et al. A framework for assessing and implementing the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. **Environmental Science and Policy**, v. 77, p. 15–24, 2017.

RIBEIRO, Lilian. **WOS e SCOPUS: os grandes aliados de todo pesquisador**.

Comunicar: escola de autores, 2017. Disponível em:

<<https://escoladeautores.wordpress.com/2017/02/09/wos-e-scopus-os-grandes-aliados-de-todo-pesquisador/>>. Acesso em 29/03/2020.

RICHTER, B.; THOMAS, G. A. Dam good operations. **International Water Power and Dam Construction**, v. 60, n. 7, p. 14–17, 2008.

RICHTER, Renato Mauro; JACOBI, Pedro Roberto. Conflitos na macrometrópole paulista pela perspectiva da crise hídrica. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, vol. 20, n. 03, 2018. Disponível em: < <https://doi.org/10.22296/2317-1529.2018v20n3p556>>. Acesso em 01 mar. 2022.

ROCKSTRÖM, J. et al. A watershed approach to upgrade rainfed agriculture in water scarce regions through Water System Innovations: An integrated research initiative on water for food and rural livelihoods in balance with ecosystem functions. **Physics and Chemistry of the Earth**, v. 29, n. 15- 18 SPEC.ISS., p. 1109–1118, 2004.

ROY, A. H. et al. Impediments and solutions to sustainable, watershed-scale urban stormwater management: Lessons from Australia and the United States.

**Environmental Management**, v. 42, n. 2, p. 344–359, 2008.

SANEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná; Sociedade das Águas.

**PACUERA – Plano de uso e conservação das águas e entrono do reservatório do Miringuava**, vol. III, produto VI, 2020. Disponível em:

<<https://site.sanepar.com.br/pacuera/>>. Acesso em 04 ago. 2022.

SANTOS, Antonio Raimundo dos. **Metodologia científica**: a construção do conhecimento. Editora Lamparina, 7ª edição, 2015.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. **Lei complementar n. 100**, de 10 de junho de 2015. Dispõe sobre o plano diretor do município de São José dos Pinhais. Disponível em: < [http://www.sjp.pr.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/LC-100\\_2015\\_PLANO-DIRETOR.pdf](http://www.sjp.pr.gov.br/wp-content/uploads/2020/07/LC-100_2015_PLANO-DIRETOR.pdf)>. Acesso em 06 set. 2021.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. **Lei complementar n. 107**, de 19 de abril de 2016. Dispõe sobre o zoneamento de uso e ocupação do solo do município de São José dos Pinhais. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/pr/s/sao-jose-dos-pinhais/lei-complementar/2016/10/107/lei-complementar-n-107-2016-dispoe-sobre-o-zoneamento-de-uso-e-ocupacao-do-solo-do-municipio-de-sao-jose-dos-pinhais>>. Acesso em 06 set. 2021.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. **Mapas do município**: Del Rey. Secretaria de Urbanismo: Prefeitura de São José dos Pinhais, 2022. Disponível em: < <http://www.sjp.pr.gov.br/mapas-do-municipio/del-rey/>>. Acesso em 10 set. 2022.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. **Sistema Hidrográfico de São José dos Pinhais**. Secretaria de Meio Ambiente: Prefeitura de São José dos Pinhais. Disponível em: < <http://www.sjp.pr.gov.br/secretarias/secretaria-meio-ambiente/sistema-hidrografico-de-sao-jose-dos-pinhais/>>. Acesso em 31 jan. 2022.

SÃO JOSÉ DOS PINHAIS. **Sistema WebGeo**. Secretaria de Urbanismo: Prefeitura de São José dos Pinhais. Disponível em: <<https://sigwebgeo.sjp.pr.gov.br/mgis>>. Acesso em 09 set.2021.

SCHIMALESKI, ANA PAULA COELHO; GARCIAS, CARLOS MELLO. Reflexões sobre o potencial desconhecido do pagamento por serviços ambientais como instrumento para a gestão de mananciais hídricos urbanos. Dossiê: a metrópole e a questão ambiental. **Cadernos Metrópole**, 22(48), 2020. Disponível em: < <https://www.scielo.br/j/cm/a/PNgDDMQCMxny3hR63Dk9qWw/?lang=pt>>. Acesso em 15 jun. 2020.

SCHIMALESKI, ANA PAULA COELHO. **Potencialidades de sistemas de pagamentos por serviços ambientais como instrumento para a gestão de mananciais hídricos urbanos**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-graduação em Gestão Urbana, PUCPR, 2017. Disponível em: < [https://pergamum-biblioteca.pucpr.br/acervo/340657?\\_ga=2.75042004.750851627.1661644974-1434059978.1648118474](https://pergamum-biblioteca.pucpr.br/acervo/340657?_ga=2.75042004.750851627.1661644974-1434059978.1648118474)>

Secretaria Municipal de Meio Ambiente do Município de São José dos Pinhais – SEMMA/SJP. **Edital de Chamada Pública n. 01/2021** – SEMMA: seleção para pagamento por serviços ambientais aos proprietários de áreas localizadas na sub-bacia hidrográfica do rio Miringuava. Disponível em: <<http://www.sjp.pr.gov.br/secretarias/secretaria-meio-ambiente/psa-miringuava/>>. Acesso em 02 fev. 2022.

SEDDON, N. et al. Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 375, n. 1794, 2020

SHARMA, A. K. et al. Water sensitive urban design: An investigation of current systems, implementation drivers, community perceptions and potential to supplement urban water services. **Water** (Switzerland), v. 8, n. 7, 2016.

SHIFFLETT, S. D. et al. Interdisciplinary collaboration on green infrastructure for urban watershed management: An Ohio case study. **Water** (Switzerland), v. 11, n. 4, 2019.

Silva, J. L., & Samora, P. R. (2019). Os impactos da crise hídrica sobre a população do município de Campinas/SP (2012-2016). **urbe**. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 11, e20180210. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.e20170210>

SILVA, Juliana Caroline de Alencar. **Bacias hidrográficas urbanizadas: renaturalização, revitalização e recuperação**. Um estudo da bacia do Jaguaré. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 2017.

SOTERO-MARTINS, Adriana; FERRÃO FILHO, Aloysio da Silva; SANTOS, José Augusto Albuquerque dos; MOURA, Priscila Gonçalves; HANDAM, Natasha Berendonk; KOTOWSKI FILHO, Nelson Peixoto; FONSECA, Rodrigo Jardim Monteiro; CARVAJAL, Elvira. Quality of raw water in the Guandu Basin of Rio de Janeiro state during water crisis of 2020. **Revista Ambiente & Água**, vol. 16 (4), 2021. Disponível em: < <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2703>>. Acesso em 03 mar. 2022.

SOUZA, Nelson Rosário de. Planejamento urbano em Curitiba: saber técnico, classificação dos cidadãos e partilha da cidade. **Revista de Sociologia e Política**, n. 16. P. 107-122, 2001. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rsocp/a/TQZkqQLHX5sFv49JBv96Sfj/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em 25 jul. 2022.

Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento do Paraná - SUDERHSA. **Mapeamentos de abrangência da bacia do Alto Iguaçu**, 2000. Disponível em: < <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapas-e-Dados-Espaciais>>. Acesso em 10 mar. 2020.

Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Paraná – SUDERHSA. A expansão urbana e a evolução dos sistemas de recursos hídricos. In: **Plano da bacia do Alto Iguaçu e afluentes do Alto Ribeira**. SUDERHSA, 2007. Disponível em: < [https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos\\_restritos/files/documento/2020-05/cap05\\_expansao\\_urbana.pdf](https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-05/cap05_expansao_urbana.pdf)>. Acesso em 20 jul. 2022.

SWINTON, Scott M; LUPI, Frank; ROBERTSON, G. Philip; HAMILTON, Stephen K. Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. **Ecological economics**, vol. 64, 2007. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2007.09.020>>. Acesso em 17/08/2020.

TAVARES, F. S. B.; BERGIER, I.; GUARALDO, E. Análise cienciométrica de espaços verdes urbanos e seus serviços ecossistêmicos. **Interações** (Campo Grande), v. 22, n. 1, p. 103–114, 13 ago. 2021.

THOMPSON, C. et al. A planning tool for optimizing investment to reduce drinking water risk to multiple water treatment plants in open catchments. **Water** (Switzerland), v. 13, n. 4, 2021.

TICKNER, D. et al. Managing rivers for multiple benefits-A coherent approach to research, policy and planning. **Frontiers in Environmental Science**, v. 5, n. FEB, 2017.

TOMAZ, Plínio. **Poluição difusa**. São Paulo: Navegar Editora, 2006.

TZOULAS, K. et al. Promoting ecosystem and human health in urban areas using Green Infrastructure: A literature review. **Landscape and Urban Planning**, v. 81, n. 3, p. 167–178, 2007.

VAN DEN BOSCH, M.; ODE SANG, Å. Urban natural environments as nature-based solutions for improved public health – A systematic review of reviews. **Environmental Research**, v. 158, p. 373–384, 2017.

VEIGA, Denise Piccirillo Barbosa da; GUANDIQUE, Manuel Enrique Gamero; NARDOCCI, Adelaide Cassia. Land use and water quality in watersheds in the State of São Paulo, based on GIS and SWAT data. **Revista Ambiente & Água**. 14 (5), 2019. Disponível em:  
<<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/QjkZD9gbFNQNRmCsQ8Qgfqg/?lang=en>>. Acesso em 15 jan. 2022.

VÖRÖSMARTY, C. J. et al. A green-gray path to global water security and sustainable infrastructure. **Global Environmental Change**, v. 70, 2021.

WANG, J. et al. Regenerating sponge city to sponge watershed through an innovative framework for urban water resilience. **Sustainability** (Switzerland), v. 13, n. 10, 2021.

WILLIAMS, J. B. et al. Residents' perceptions of sustainable drainage systems as highly functional blue green infrastructure. **Landscape and Urban Planning**, v. 190, 2019.

WOJCIECHOWSKA, E. et al. Combination Of Architectural, Environmental And Social Aspects In Urban Stormwater Management. A Case Study Of The University Campus. **International Journal of Conservation Science**, v. 12, n. Specials, p. 681–700, 2021.

WONG, T. H. F.; BROWN, R. R. The water sensitive city: Principles for practice. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 3, p. 673-682, 2009.