ICLEI Governos Locais pela Sustentabilidade

WRI BRASIL

INFRAESTRUTURA NATURAL PARA ÁGUA EM CAMPINAS (SP) E REGIÃO

Vitor Tramontin, Rafael Feltran-Barbieri, Leonardo Barbosa, Mariana Oliveira, Marcelo M. Matsumoto, Lara Caccia, Luciana Alves, Roberto Rüsche, Victor Ferraz, Diogo Meneses Costa, Sophia Picarelli

INTERACT-Bio
Ação Integrada pela Biodiversidade

Cities4Forests

EXPEDIENTE

Equipe ICLEI América do Sul

Rodrigo de Oliveira Perpétuo
Secretário Executivo

Leta Vieira
Gerente Técnica

Marília Israel
Analista de Projetos

Ana Paula Becker
Assistente de Projetos

Maria Gabriela Lins
Assistente de Projetos

PUBLICAÇÃO

Supervisão de pesquisa
Thiago Guimarães

Coordenação editorial
Joana Oliveira de Oliveira

Revisão do texto
André Caramori e Anaelena Lima

Projeto editorial e diagramação
Coletivo Atucana
(Ana Porazzi e Antônio Silveira)

Autores
Vitor Tramontin
Rafael Feltran-Barbieri
Leonardo Barbosa
Mariana Oliveira
Marcelo M. Matsumoto
Lara Caccia
Luciana Alves
Roberto Rüsche
Victor Ferraz
Diogo Meneses Costa
Sophia Picarelli

Citação sugerida
TRAMONTIN, Vitor, FELTRAN-BARBIERI, Rafael, BARBOSA, Leonardo et al. Infraestrutura Natural para Água em Campinas (SP) e Região. São Paulo, Brasil: ICLEI e WRI Brasil. 2022.

Foto de capa
Rafael Berlandi/Shutterstock

Julho 2022

ÍNDICE

2 Prefácios

5 Sumário executivo

13 Contextualização

23 Avaliação da infraestrutura natural para controle de sedimentos

39 Estratégias para infraestrutura natural na área de abrangência do estudo

47 Conclusões

52 Notas

53 Apêndices

66 Referências

PREFÁCIOS

POR ICLEI AMÉRICA DO SUL

O ano de 2022 é quando o Marco Global para a Biodiversidade Pós-2020 será discutido durante a 15ª Conferência das Partes (COP15) da Convenção da Diversidade Biológica (CDB). Espera-se o firmamento de um acordo ambicioso que reforce a Visão 2050 da CDB, na qual "a biodiversidade esteja valorizada, conservada e restaurada sabiamente até o ano de 2050, mantendo os serviços ecossistêmicos em prol de um planeta saudável e oferecendo seus benefícios essenciais para todas as pessoas".

Nesse sentido, é essencial que governos subnacionais se aliem para o alcance dessas metas, uma vez que é no território que as ações acontecem. A Região Metropolitana de Campinas (RMC) foi escolhida como modelo do Projeto INTERACT-Bio, que tem como objetivo integrar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos ao planejamento urbano, à gestão territorial e aos projetos de infraestrutura urbana.

Desde 2017, a RMC tem sido uma aliada na preservação da biodiversidade e lançou através do Programa Reconecta RMC o Plano de ação para implementação da área de conectividade da RMC, que tem como um dos seus objetivos a implementação de corredores ecológicos, recuperando e preservando nascentes e corpos d'água.

Nesse caminho, o presente estudo traça um panorama da relação custo-benefício e do potencial da infraestrutura natural no ambiente urbano. Para isso, destacam-se os benefícios ambientais e econômicos trazidos ao abastecimento de água na região por meio da preservação de ecossistemas em áreas estratégicas prioritárias.

O desenvolvimento e a implementação de projetos pelo ICLEI são baseados em cinco caminhos: de baixo carbono, circular, resiliente, equitativo e centrado nas pessoas e baseado na natureza. Os dois últimos estão ligados diretamente ao desenvolvimento deste produto.

Defendemos a importância da prestação de serviços ecossistêmicos para a melhoria da saúde humana e ambiental e, consequentemente, o aumento do bem-estar dos cidadãos. Por isso, é necessário que o valor da recuperação e preservação de áreas verdes e mananciais seja visto para além de seu valor econômico direto.

Rodrigo Perpétuo
Secretário-executivo do ICLEI América do Sul

POR WRI BRASIL

Estamos na Década das Nações Unidas da Restauração de Ecossistemas, um momento em que há grande interesse e compromissos nacionais e internacionais para conservação e recuperação da vegetação natural. É na escala dos municípios e regiões metropolitanas, no entanto, que esses planos podem sair do papel. No Brasil, a Região Metropolitana de Campinas aparece como uma das que têm grande oportunidade e benefícios em olhar as florestas como uma forma de investimento em infraestrutura urbana.

As florestas e vegetações naturais podem desempenhar um papel importante na segurança hídrica para populações urbanas. Elas funcionam como um filtro que reduz a quantidade de sedimentos provocados pela erosão do solo que chegam nos corpos d'água e reservatórios. O WRI Brasil, por meio do programa de Florestas, Uso da Terra e Agricultura, já produziu estudos e modelos mostrando as vantagens das florestas no abastecimento de água em São Paulo, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Agora, traz essa metodologia para Campinas e região.

Vocês verão nestas páginas que o investimento em conservação, manejo e restauração de florestas – que aqui chamamos de infraestrutura natural para água, justamente para reforçar a sua importância econômica – se paga no longo prazo. Ou seja, além de trazer benefícios evidentes para melhoria da qualidade e aumento da quantidade da água, trata-se de um investimento que impacta positivamente a saúde financeira de prefeituras e empresas de saneamento e abastecimento. E também traz perspectivas de melhorar a produtividade e qualidade de vida nas zonas rurais.

Mas, mais do que um benefício econômico, a infraestrutura natural desempenha papel crucial para a biodiversidade. Áreas prioritárias restauradas para fins hídricos podem funcionar como conexão entre fragmentos florestais. Dessa forma, o estudo tem grande sinergia com o Plano de Ação para a Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas, produzido pelo ICLEI a partir da iniciativa INTERACT-Bio.

O WRI Brasil apresenta resultados do presente estudo para impulsionar a recuperação de áreas degradadas em Campinas e região, com benefícios para toda a sociedade e ajudando a colocar o país no caminho do desenvolvimento de uma economia sustentável, inclusiva e florestal.

Fabíola Zerbini
Diretora de Florestas, Uso da Terra e Agricultura

SUMÁRIO EXECUTIVO

Este estudo oferece aos gestores de recursos hídricos do município de Campinas e região – Região Metropolitana de Campinas (RMC) e municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Atibaia a montante da RMC – um panorama da relação custo-benefício e do potencial da infraestrutura natural no controle de sedimentos lançados aos corpos d'água que abastecem a região. Também visa avaliar oportunidades de investimento em infraestrutura natural para a melhoria da qualidade da água e do fluxo hídrico através do levantamento de dados e informações primárias, provenientes de consultas a atores-chave locais e utilização de instrumentos de análise financeira, biofísica e geoespacial.

DESTAQUES

- Este estudo demonstra, com dados e análises, como a infraestrutura natural é uma abordagem importante na recuperação de mananciais e melhoria da qualidade da água do município de Campinas e sua região.
- A implementação de ações de infraestrutura natural nas bacias dos rios Atibaia e Capivari, responsáveis pelo abastecimento da população de Campinas e região, tem potencial de evitar a erosão dos solos, de modo a reduzir a turbidez nos cursos d'água em até 14%.
- A infraestrutura natural diminui os custos de tratamento de água para as empresas de saneamento (Browder et al., 2019; Feltran-Barbieri et al., 2018; Feltran-Barbieri et al., 2021). A conservação da vegetação já existente gera uma economia que chega a R$ 6,6 milhões por ano, e a restauração de áreas degradadas pode adicionar a esse valor entre R$ 335 mil e R$ 1,7 milhão por ano, a depender da quantidade de hectares restaurados.
- Dentre as áreas prioritárias para restauração da vegetação nativa identificadas neste estudo, 130 hectares são comuns às áreas priorizadas no Plano de Ação para Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas, no âmbito do Programa Reconecta RMC, o que indica que a implementação da infraestrutura natural pode ser potencializada se articulada com programas e planos já existentes.
- O envolvimento e a coordenação intersetorial entre iniciativas vigentes, como o Plano das Bacias PCJ (bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí) e os programas Nascentes e Refloresta SP (da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo), poderiam acelerar a implementação da infraestrutura natural para a região.

SOBRE ESTE RELATÓRIO

A restauração da vegetação nativa em áreas degradadas destaca-se entre as infraestruturas naturais com maior potencial gerador de serviços ambientais, principalmente relacionados aos recursos hídricos. Em 2021, o estado de São Paulo assumiu um novo compromisso de promover a restauração de 1,5 milhão de hectares de vegetação nativa. Os esforços de implementação dos cenários deste estudo estão alinhados às ações que visam melhorar a qualidade da água, diminuir a vulnerabilidade climática e auxiliar na segurança hídrica das grandes metrópoles.

Desenvolvido no âmbito do projeto INTERACT-Bio, este estudo apresenta um caso viável de investimento para apoiar a execução do Plano de Ação para Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas. Oferece aos gestores de recursos hídricos de Campinas e região – Região Metropolitana de Campinas (RMC) e municípios da Bacia Hidrográfica do Rio Atibaia a montante da RMC – um panorama dos custos e benefícios da infraestrutura natural no controle de sedimentos e qualidade da água, além de avaliar oportunidades de investimento para implementação dessa infraestrutura.

Através de ações conjuntas, como as parcerias com o ICLEI América do Sul e o WRI Brasil, a cidade de Campinas vem desenvolvendo estudos e políticas públicas voltados ao planejamento urbano sustentável e à recuperação ambiental de seu território. O município também estabeleceu compromissos nacionais e internacionais sobre os temas de biodiversidade e resiliência climática: em 2021, a cidade atingiu a marca de liderança climática na plataforma CDP Cities; em 2022, a cidade foi reconhecida como o primeiro Centro de Resiliência do Brasil pelo Comitê de Coordenação Global da Iniciativa Construindo Cidades Resilientes (MCR2030) e pelo Escritório das Nações Unidas para Redução de Risco de Desastres (UNDRR).

A Avaliação de Investimento em Infraestrutura Natural (*Green-Gray Assessment* – GGA/WRI), adotada neste relatório, pode subsidiar a região a cumprir metas climáticas e ambientais. O método é composto de seis etapas que ajudam a incorporar a infraestrutura natural – mais especificamente a restauração florestal – nas decisões de investimento em saneamento. A GGA/WRI foi aplicada a fim de estimar custos e benefícios que seriam agregados ao sistema de saneamento a partir da análise de cenários que contemplam estratégias de restauração florestal em áreas prioritárias, comparando com um cenário base em que apenas a infraestrutura construída é utilizada.

O estudo foi baseado em dados do município de Campinas e região, localizados nas Bacias PCJ. No abastecimento de água da cidade de Campinas, o rio Atibaia atende 94% da população e o rio Capivari, a região sul da cidade, fornecendo 6% do volume total necessário para todo o município. Os demais municípios ao sul são abastecidos também pelo rio Capivari.

Os dados de Campinas foram extrapolados para toda a região, o que permitiu uma análise ampla da RMC e dos municípios da bacia do rio Atibaia a montante da RMC. Curvas de custos obtidas para Campinas foram ponderadas pelo volume (94% tratado no rio Atibaia e 6%, no rio Capivari) e aplicadas para toda a região citada, doravante chamada simplesmente *Campinas e região*, sob a premissa de que os custos nas demais Estações de Tratamento de Água (ETAs) são iguais às da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A (Sanasa).

Todos os resultados foram baseados em dados médios mensais, de janeiro de 2015 a dezembro de 2019. Esses dados foram discriminados entre as cinco ETAs da Sanasa, quatro delas no rio Atibaia e uma no rio Capivari-Mirim. As informações de volume de água tratada (metro cúbico – m^3), turbidez na captação (unidade nefelométrica – UNT), quantidade de produtos químicos utilizados para tratar a turbidez (toneladas) e tipo de produto químico utilizado permitiram estabelecer curvas de custos de tratamento em função de volume e turbidez da água tratada. Os dados primários foram cedidos pela Sanasa.

No Capítulo 1, é feita a contextualização da área de abrangência do estudo, da gestão hídrica de Campinas e região, dos principais desafios para essa gestão, além do resultado do mapeamento dos principais atores e estratégias atuantes na região sobre a temática de infraestrutura natural. O Capítulo 2 avalia os benefícios da infraestrutura natural, os custos incorridos em projetos para Campinas e região e apresenta os cenários elaborados e os resultados biofísicos estimados para cada um. O Capítulo 3 traz a análise sobre a gestão estratégica e o financiamento para implementação dos cenários propostos, na qual se avaliam os principais atores, partes interessadas e espaços de tomada de decisão relacionados à execução das ações. O Capítulo 4 conclui apresentando as oportunidades de otimização de esforços estratégicos e as recomendações elaboradas com base nos resultados das análises. Nos apêndices, é possível encontrar o detalhamento do método de consulta às partes interessadas, das premissas e portfólios de investimento, dos modelos biofísicos, dos mapeamentos e das análises financeiras.

BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO DA INFRAESTRUTURA NATURAL NA GESTÃO DA ÁGUA

O estudo avaliou que a vegetação nativa existente em Campinas e região fornece atualmente um serviço de retenção de sedimentos que gera uma economia em torno de R$ 6,6 milhões por ano no tratamento de turbidez da água. A RMC juntamente com os municípios da bacia do rio Atibaia a montante da RMC tem atualmente 78 mil hectares de vegetação nativa que evitam a descarga de 34 mil toneladas de sedimentos por ano. A perda dessa vegetação implicaria o aumento da turbidez média em quase 70%, saltando dos atuais 44 para 75 UNT. Esse aumento teria um impacto significativo nas operações de tratamento de água, que demandariam consumo adicional de produtos químicos e energia equivalentes a R$ 6,6 milhões por ano, valor suficiente para o tratamento de água que beneficiaria 600 mil pessoas.

O cenário de restauração florestal dos 14 mil hectares de pastagens altamente degradadas na região seria capaz de gerar um benefício adicional de R$ 1,7 milhão por ano. Mantendo-se os 78 mil hectares de vegetação nativa e buscando restaurar os 14 mil hectares de pastagens altamente degradadas existentes, poderia se esperar uma diminuição de 9% dos sedimentos exportados aos cursos d'água, o que reduziria 14% da turbidez média no rio Atibaia e 17% no rio Capivari. Operacionalmente, as empresas de saneamento poderiam alcançar um custo evitado de R$ 1,7 milhão por ano, o equivalente a um trimestre a mais por ano com níveis de turbidez média mais baixa, que atualmente são registrados na época de seca, entre maio e outubro.

Mesmo no cenário de restauração obrigatória de 800 hectares referentes à construção dos dois reservatórios na região, a infraestrutura geraria benefícios líquidos significativos de R$ 335 mil em valor presente líquido. A construção dos reservatórios Pedreira e Duas Pontes exigem a restauração de 427 hectares de vegetação a serem implantadas como Áreas de Preservação Permanente (APPs) dispostas obrigatoriamente no contorno das barragens em faixas de 100 metros. Outros 373 hectares compensatórios à vegetação atual que será submersa poderiam ser implantados nas áreas de maior nível de degradação. Em casos reais como esse, a restauração é geralmente vista como um custo de adequação legal, em que raramente são evidenciados os benefícios. Este estudo mostra que a restauração deve ser encarada como investimento, com potencial de reduzir a turbidez da água dos atuais 44 para 42 UNT, sendo capaz de gerar, em 50 anos, economia

de R$ 35 milhões. Nesse período, um total de R$ 23 milhões seriam gastos em investimentos no plantio e manutenção das áreas restauradas. Utilizando-se uma taxa de desconto de 5% ao ano, os benefícios líquidos descontados seriam de R$ 335 mil.

O desempenho econômico da infraestrutura natural varia conforme o tipo e a localização dos investimentos e dependem de quais benefícios são pretendidos. Focar a restauração em áreas prioritárias resulta em maior relação custo-efetividade, mas em muitas situações a restauração precisa seguir outras orientações, como no caso da recomposição obrigatória de APPs dos reservatórios explorados no cenário de 800 hectares (R800). É importante ter clareza que o desempenho da infraestrutura natural é altamente dependente do tipo de serviço ecossistêmico prestado (retenção de sedimentos, fluxo hídrico, conforto térmico, polinização), do tipo de intervenção (conservação ou restauração), da escala (paisagem ou infraestrutura específica) e da motivação (áreas prioritárias, áreas disponibilizadas por proprietários rurais, áreas legalmente exigíveis). Independentemente disso, a infraestrutura natural é grande aliada das estratégias na conservação e reabilitação de mananciais, potencializando benefícios para o manejo das bacias hidrográficas e seus usuários.

Os gestores de infraestrutura convencional, como as empresas de abastecimento de água, podem obter benefícios operacionais com o investimento em infraestrutura natural. A redução dos custos de tratamento de água, estabilidade no abastecimento, risco reduzido de inundações e, consequentemente, de desgastes, depreciação ou perdas causadas por danos à infraestrutura são benefícios mensuráveis resultantes do desempenho da infraestrutura natural. A restauração florestal obrigatória em APPs e para compensação, ainda tomadas como meros custos, precisam ser encaradas como investimentos viáveis e ligados ao próprio negócio.

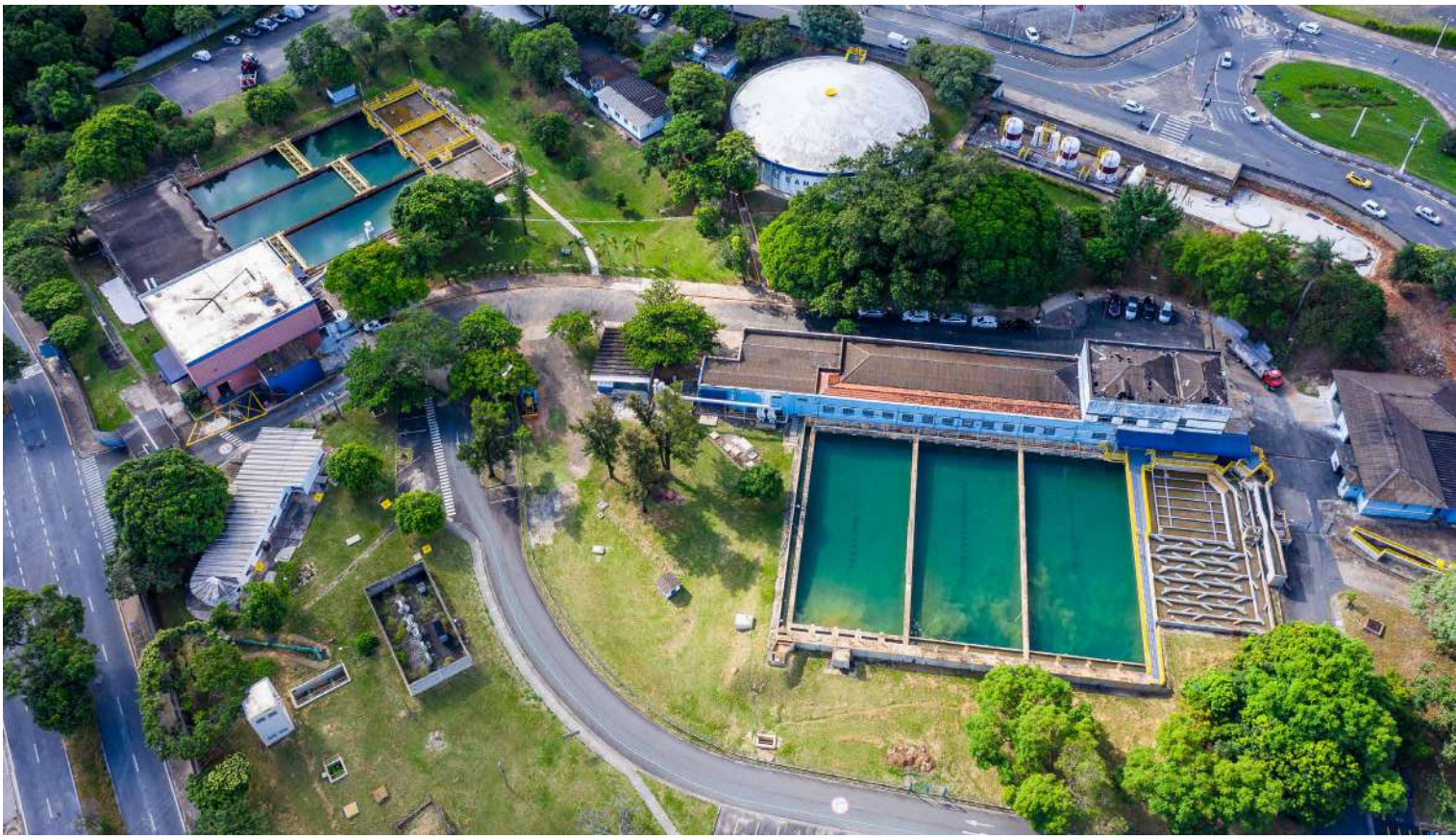


Tabela 1 SE | Desempenho financeiro da infraestrutura natural com restauração de 800 ha (cenário R800) para manejo de sedimentos e turbidez da água

BENEFÍCIOS DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL (VALORES EM MIL R$)	
TOTAL	**34.640**
Custos evitados com produtos químicos	17.203
Custos evitados com insumos filtrantes	6.559
Desgastes e depreciação evitados	10.878
CUSTOS DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL (VALORES EM MIL R$)	
TOTAL	**11.461**
Investimentos no plantio	6.340
Custos operacionais de manutenção	840
Custos de transação	761
Custo de oportunidade da terra	3.520
BENEFÍCIOS LIQUIDOS (VALORES EM MIL R$)	
TOTAL	**23.179**
DESEMPENHO FINANCEIRO (TMA = 5% A.A.)	
Valor presente líquido (Valores em mil R$)	**335**
Taxa interna de retorno	**5,2%**
Payback	**45,5 anos**

Fonte: Elaborado pelos autores.
Nota: TMA = Taxa Mínima de Atratividade.

RECOMENDAÇÕES

Campinas e região têm a oportunidade de suprir suas necessidades hídricas combinando estratégias de infraestrutura convencional e natural, incluindo os demais municípios da RMC e pertencentes às bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (Bacias PCJ). Uma etapa crucial para alcançar esse objetivo é incorporar as considerações sobre infraestrutura natural aos processos de planejamento da gestão de recursos hídricos e compartilhá-las com atores locais, como os proprietários rurais, que são os principais agentes no processo de implementação de infraestrutura natural, conquistando assim objetivos compartilhados.

Ações de infraestrutura natural demandam o envolvimento de diferentes atores. Ao longo das análises, demonstra-se que a ampliação do conhecimento técnico-científico sobre a temática e a escala de investimentos são essenciais para a implementação da restauração florestal focada na melhoria da qualidade da água. **Este estudo mostra que iniciativas empenhadas na retenção de sedimentos e melhoria da qualidade da água por meio da infraestrutura natural trazem benefícios importantes e economicamente viáveis.**

O envolvimento e a coordenação intersetorial entre iniciativas existentes, como o Plano das Bacias PCJ e os programas Nascentes e Refloresta SP (da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo), podem colaborar

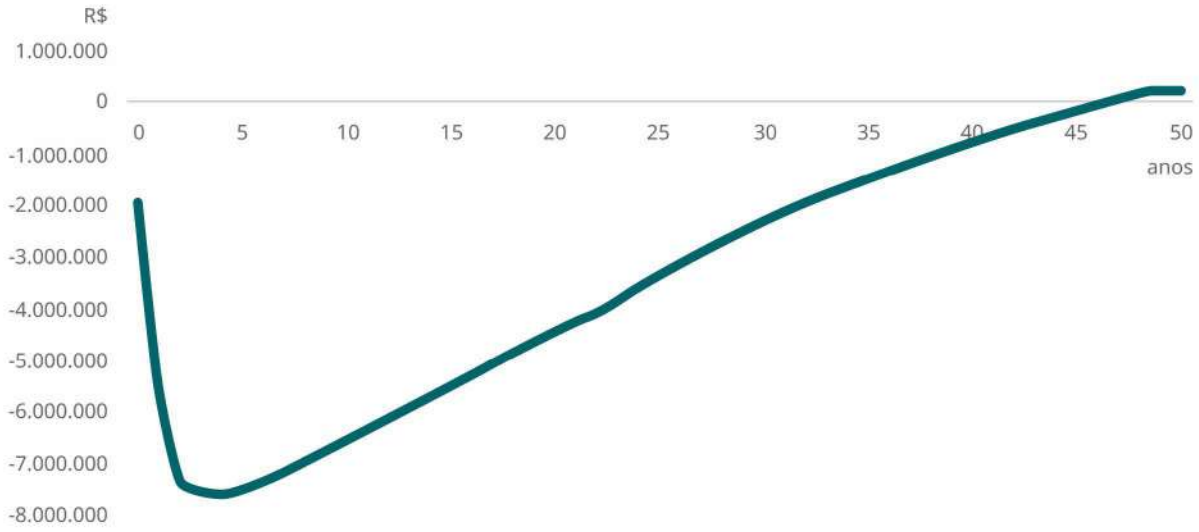
tecnicamente e acelerar a implementação de ações de infraestrutura natural. Dentro da área de abrangência do estudo, 130 hectares são comuns às áreas priorizadas no Plano de Ação para Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas, desenvolvido no âmbito do Programa Reconecta RMC e do projeto INTERACT-Bio pelo ICLEI América do Sul e pelos 20 municípios da RMC, contando com a participação de 80 atores distintos, de setores públicos estadual e federal, setor privado, academia, sociedade civil organizada e terceiro setor.

A restauração florestal é comum a diversos instrumentos oficiais de planejamento, sendo assim, articulação, planejamento, execução e comunicação entre iniciativas e projetos são pilares de fundamental importância para garantir a continuidade da colaboração técnica e para acelerar a implementação da restauração em escala. A restauração florestal está nos projetos e programas em diferentes níveis de governo e gestão territorial, tais como: Planos Diretores, Planos de Desenvolvimento Urbano Integrado, Planos Municipais e Estaduais de Implementação de Áreas Verdes, além de Planos de Bacias Hidrográficas. O planejamento demanda articulação e integração das instituições, e o tema da restauração pode ser um dos elementos que viabilizam essa integração.

Campinas e região devem ganhar eficiência na restauração se houver forte alinhamento de prioridades entre os atores envolvidos. Um esforço conjunto do Plano de Ação para Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas e do Programa Reconecta RMC com empresas de saneamento, como a Sanasa, pode buscar áreas comuns de alto valor para contenção de erosão e biodiversidade. Essas iniciativas fortaleceriam ações do Programa de Pagamentos por Serviços Ambientais do Comitê de Bacias PCJ.

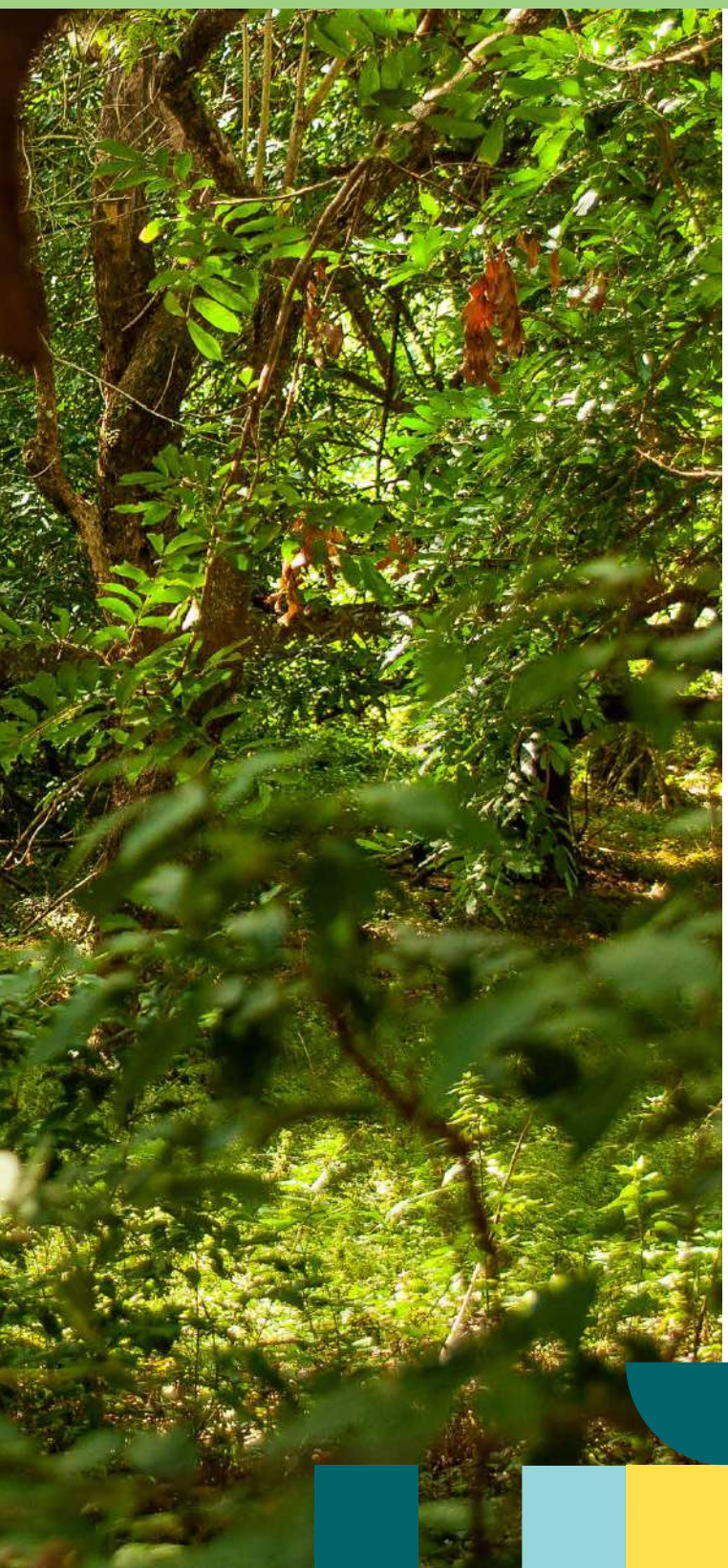
É fundamental que os órgãos de gestão e planejamento das bacias hidrográficas, órgãos dos poderes executivo e legislativo, iniciativa privada e usuários reconheçam em suas decisões e deliberações o nexo causal entre a restauração florestal e a melhoria da qualidade da água. Esse reconhecimento permite que planos de recuperação e restauração possam superar restrições administrativas, justificando investimentos em infraestrutura natural que coincidam com a esfera de gestão mais apropriada. A melhoria da qualidade da água em determinado município pode exigir ações em municípios a montante, sendo, portanto, necessário que as esferas de decisão e mediação permitam soluções integradas que vão além da jurisdição local.

Figura 1 SE | Evolução do valor presente líquido da infraestrutura natural no cenário R800



Fonte: Elaborado pelos autores.

CONTEXTUALIZAÇÃO



Desenvolvido no âmbito do projeto INTERACT-Bio[1] e com apoio da iniciativa Cities4Forests[2], o estudo busca apresentar um caso possível de investimento a fim de apoiar o Plano de Ação[3] para Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas, no âmbito do Programa Reconecta RMC[4].

DESAFIOS DA GESTÃO HÍDRICA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DOS RIOS PIRACICABA, CAPIVARI E JUNDIAÍ (PCJ)

Campinas e região estão localizadas nas Bacias PCJ, sendo o rio Atibaia responsável pelo abastecimento de água de 94% da população campineira e o rio Capivari pelo abastecimento da região sul da cidade, fornecendo 6% do volume total necessário para o município. Os demais municípios são abastecidos também pelo rio Capivari.

Os sistemas de abastecimento hídrico contam com 16 companhias de abastecimento e têm sido severamente afetados por recentes crises hídricas, como a dos anos 2014 e 2015, que afetou o Sistema Cantareira e o abastecimento da Região Metropolitana de São Paulo. Campinas e região, apesar de fazerem parte do Sistema Cantareira, pouco usufruem dos reservatórios, sendo muito vulneráveis à escassez de água porque dependem crucialmente da captação direta dos rios, cujos fluxos resultam do regime de chuvas, da qualidade do solo e da cobertura vegetal na paisagem, e dos volumes de demanda dos diferentes setores produtivos. A deterioração dos ecossistemas e as mudanças climáticas vêm agravando esse quadro (Thornton e Herrero, 2010).

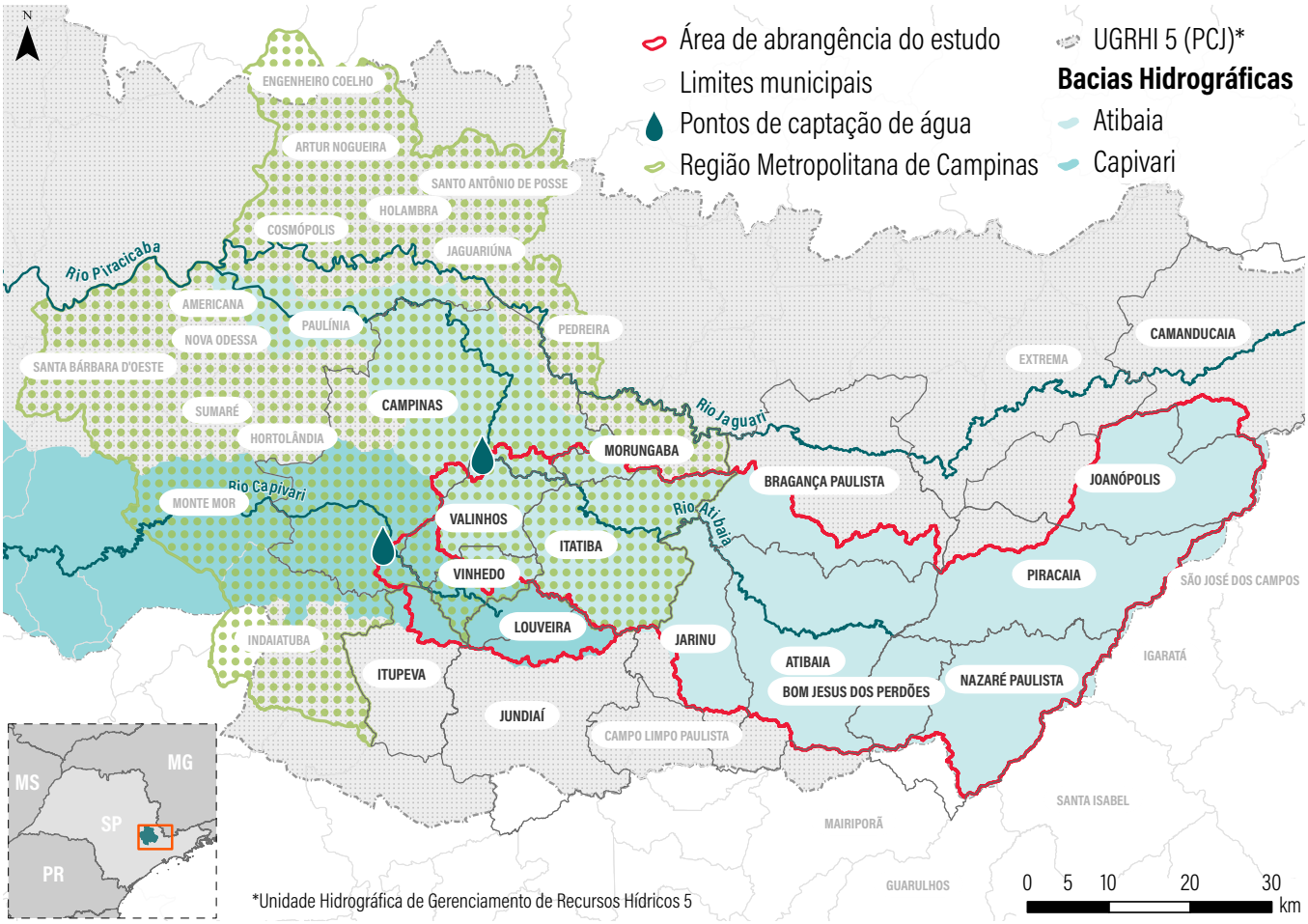
Outra grande fonte de pressão para a gestão hídrica em Campinas e região decorre do crescimento urbano e econômico, que passou por uma grande transformação nas últimas três décadas. O Produto Interno Bruto (PIB) e a população cresceram, respectivamente, 160% e 70% entre 1990 e 2018 (IBGE, 2019). Nesse mesmo período, a área urbana aumentou 380 quilômetros quadrados, um crescimento de 72% (MapBiomas, 2021).

O crescimento da mancha urbana, baseado em um planejamento e ordenamento do território que requer integração, tem comprometido a capacidade de abastecimento hídrico. Observou-se uma expansão de 1,7 quilômetro quadrado na superfície ocupada por corpos d'água, resultante do represamento de rios em pequenos lagos e barragens (MapBiomas, 2021). Considerando a importância da conservação das florestas e a restauração de áreas degradadas como parte da abordagem de infraestrutura natural, observou-se que, nas últimas três décadas, foram desmatados 20 mil hectares de vegetação nativa (MapBiomas, 2021). Além disso, nota-se altíssimo nível de fragmentação e degradação da paisagem, com mais de 14 mil hectares de áreas com grau de moderado a severo de degradação (Lapig, 2021).

No ordenamento jurídico brasileiro, a gestão dos recursos hídricos – considerada uma função pública de interesse comum – deve ser realizada de maneira compartilhada entre estado e municípios limítrofes (Brasil, 2015). Em termos administrativos, a RMC é composta por 20 municípios, todos localizados nas Bacias PCJ. Desde 1973, o saneamento do município de Campinas está sob a responsabilidade da Sanasa, que fornece serviços de água a uma população superior a 1,2 milhão de habitantes, sendo 87% para fim residencial, 10% para fim comercial, 2% para uso público e 1% para fim industrial (Sanasa, 2019).

Apesar da gestão municipal da captação e tratamento da água, é preciso considerar também os dez municípios das sub-bacias dos rios Atibaia e Capivari, localizados a montante dessas captações, para além dos limites da RMC (sendo eles: Camanducaia, Joanópolis, Piracaia, Nazaré Paulista, Atibaia, Bragança Paulista e Jarinu, na bacia do rio Atibaia; Louveira, Itupeva e Jundiaí, na bacia do rio Capivari) (Figura 1). Dado o grande número de atores que provêm os serviços de abastecimento, a identificação dos atores a serem envolvidos e das áreas prioritárias para investimentos em infraestrutura natural muitas vezes extrapola os limites administrativos municipais, assim como seus benefícios, o que requer uma estratégia integrada.

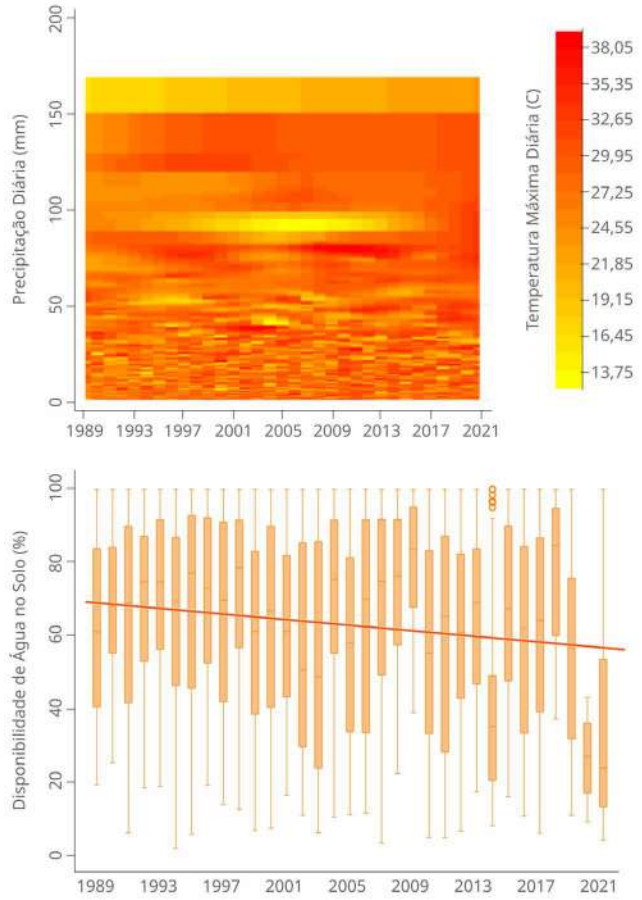
Figura 1 | Representação esquemática das bacias de captação e municípios integrados



Fonte: Elaborado pelos autores.

Desafio do abastecimento de água: o clima no município de Campinas tem sofrido alterações com tendência de aumento da temperatura e diminuição da disponibilidade de água no solo. Embora as mudanças climáticas sejam fenômenos cuja observação depende crucialmente de séries temporais longas, é possível notar que, nos últimos 35 anos, houve aumento consistente das temperaturas máximas diárias acompanhado por diminuição das chuvas e também diminuição de 0,5% ao ano, em média, da disponibilidade de água no solo (Figura 2). Até o fechamento deste estudo, em maio de 2022, os níveis de chuva se apresentavam 15% menores que a média histórica (Agritempo, 2021).

Figura 2 | Evoluções de temperatura e de disponibilidade de água no solo em Campinas, de 1989 a 2021



Fonte: Elaborado pelos autores.
Nota: Modelos gráficos de "Counter Plot" e "Box Plot" a partir de dados diários de precipitação (mm), temperatura máxima (ºC) e disponibilidade de água no solo (%) da estação meteorológica Cepagri/Unicamp (Agritempo, 2021). Gráfico 1 (*Counter Plot*) evidencia a relação entre temperaturas máximas e precipitação diária, enquanto o Gráfico 2 (*Box Plot*) mostra a disponibilidade hídrica no solo e linha tendencial na série histórica (R^2=0,26, p< 0,05).

Desafio da poluição por sedimentos: como a maioria dos sistemas de abastecimento de água, as bacias hidrográficas em Campinas e região sofrem constantemente com poluição por sedimentos. Entre 2004 e 2019, a concentração de sólidos em suspensão medida pela Sanasa nos pontos de captação no rio Atibaia foi de 151 à máxima de 1.180 miligramas por litro, em 16 de novembro de 2004, quando a turbidez atingiu 774 unidades nefelométricas (UNT[5]). As médias mensais de turbidez da água bruta registradas pela Sanasa nos últimos seis anos foram de 38 UNT no rio Atibaia e 87 UNT no rio Capivari, que equivalem a uma turbidez 5 a 9 vezes maior que a média mensal no Sistema Cantareira, ou seja, esses rios apresentam níveis maiores de concentração de sedimentos quando comparados à média de todo o sistema do qual fazem parte, o que é consequência especialmente da captação direta sem apoio de reservatórios e do alto nível de degradação do solo.

Dados sobre quantidade de produtos químicos utilizados, cedidos pela Sanasa para este estudo, permitem mensurar que o tratamento da turbidez custa à empresa cerca de R$ 14 milhões por ano. Turbidez e manejo de sedimentos têm pelo menos três impactos no custo de fornecimento de água:

1. Custos de tratamento de turbidez: os sedimentos são a principal causa de turbidez da água (turvação da água pela presença de partículas). A erosão do solo faz com que os sedimentos sejam carreados para os cursos d'água, aumentando os níveis de sólidos suspensos. Para retirá-los, são necessários insumos químicos, energia, mão de obra, lavagem dos equipamentos e reposição de materiais filtrantes.

2. Custos de dragagem: os sedimentos carregados e saturados na água se depositam nos reservatórios, reduzindo a capacidade de armazenamento ou exigindo que sejam dragados para remoção do lodo. Embora o material retirado possa ser vendido para recuperar os custos, a dragagem pode ser um processo caro – especialmente para o setor da construção civil, causador de degradação ambiental.

3. Depreciação de equipamentos: a poluição por sedimentos pode levar ao desgaste da infraestrutura hídrica, exigindo maior frequência de manutenção e reposição de equipamentos utilizados no processo de remoção da turbidez. Esse desgaste tende a aumentar a taxa de depreciação dos equipamentos, o que eleva os gastos das empresas responsáveis pela manutenção.

Outros custos, como o de interrupção temporária no abastecimento devido à turbidez, podem ser significativos, mas, por se tratarem de custos contingenciais ou emergenciais, não são considerados neste estudo.

DEMANDAS PARA A AMPLIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA CONVENCIONAL EM CAMPINAS E REGIÃO

O gerenciamento dos recursos hídricos visa a garantia do acesso sustentável a quantidades adequadas de água, em condições satisfatórias de qualidade para o bem-estar humano, o desenvolvimento econômico e a manutenção de mananciais e meio ambiente (UN, 2013). É necessária uma gestão participativa, multissetorial e com amplas estratégias de investimento, assim como também é cada vez mais relevante a combinação de infraestruturas convencionais de engenharia civil com infraestruturas naturais, a exemplo de conservação e restauração florestal.

Um grande conjunto de investimentos em infraestrutura convencional para gestão hídrica, em especial para reservação[6] e tratamento de água, foi mapeado para a região. Esse mapeamento foi realizado através de revisão de documentos técnicos e consultas a gestores das bacias, empresas de saneamento, prefeituras, Ministério Público, por meio do Grupo de Atuação Especializada em Meio Ambiente, Habitação e Urbanismo (Gaema), e especialistas na área.

A maior parte dos investimentos compreende a expansão ou melhoria das redes de coleta e tratamento de esgoto e ampliação da distribuição de água. Dentre eles, os que alteram significativamente a paisagem e a gestão dos recursos hídricos são aqueles voltados para a construção de reservatórios. Neste caso, são dois: o primeiro, na divisa dos municípios de Campinas e Pedreira (Reservatório Pedreira) e, o segundo, em Amparo (Reservatório Duas Pontes). Ambos contribuirão para diminuir a exposição da população e da economia a riscos de escassez, uma vez que aumentam a capacidade de reservação de água na ordem de 85 milhões de metros cúbicos, o que equivale ao consumo anual de uma população de um milhão de habitantes. As principais características desses reservatórios estão dispostas na Tabela 1.

Tabela 1 | Infraestrutura convencional planejada para abastecimento hídrico em Campinas e região

	RESERVATÓRIO PEDREIRA	RESERVATÓRIO DUAS PONTES
Municípios	**Campinas e Pedreira**	**Amparo**
Volume útil (m^3)	31,9 milhões	53,4 milhões
Espelho d'água (ha)	202	486
Custo com desapropriações (R$)	28 milhões	85 milhões
Investimento total (R$)	370 milhões	390 milhões
Área de Preservação Permanente – APP (ha)	214	391
APP a ser restaurada (ha)	135	292
Área de restauração compensatória por supressão (ha)	186	187
Restauração total (ha)	321	479

Fonte: Elaborado pelos autores com base em DAEE (2020).

As infraestruturas convencionais são importantes para gerenciar a oferta de água, mas não alteram a dinâmica de produção e o fluxo hídrico da paisagem. Para isso, a recuperação de mananciais via conservação e restauração da infraestrutura natural – vegetação nativa – é essencial, protegendo e potencializando a eficiência das obras de engenharia. As políticas e estratégias de infraestrutura natural devem ser analisadas vis-à-vis àquelas destinadas à infraestrutura convencional.

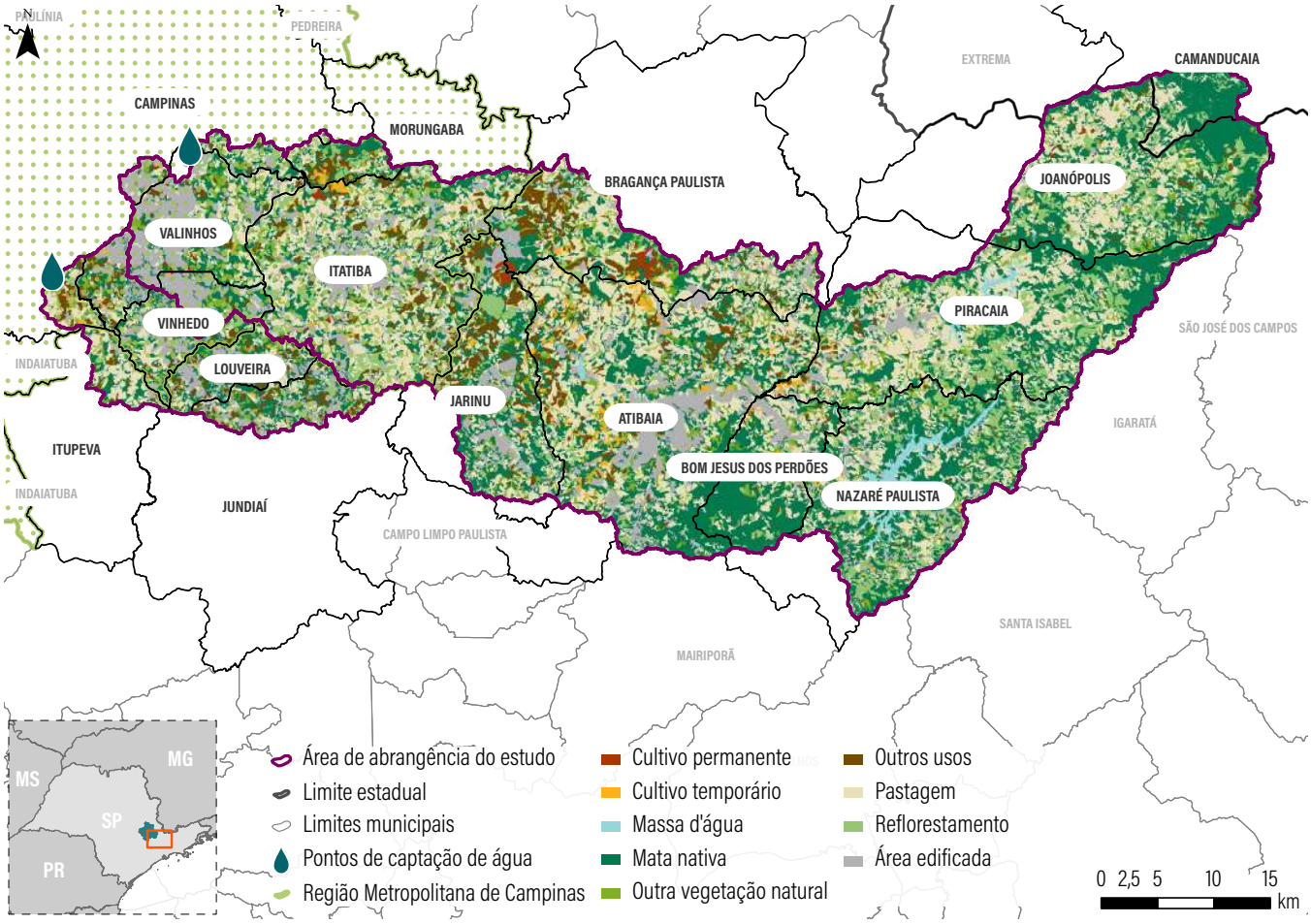
POLÍTICAS PÚBLICAS E ESTRATÉGIAS DE INFRAESTRUTURA NATURAL PARA CAMPINAS E REGIÃO

Planejar intervenções em Campinas e região requer o mapeamento de políticas públicas e iniciativas já em curso. Por exemplo, a área de estudo é classificada como zona de prioridade muito alta para restauração da vegetação nativa e recarga hídrica no estado de São Paulo (Rodrigues et al., 2008). Além disso, a RMC e a área a montante possuem uma paisagem altamente fragmentada, com menos de 19% da cobertura vegetal. Os principais fragmentos protegidos em Unidades de Conservação estão no município de Campinas, onde se localizam diversas áreas de proteção ambiental, classificadas como de uso sustentável, com diversos níveis de ocupação e uso, como, por exemplo, a Área de Relevante Interesse Ecológico (ARIE) Mata de Santa Genebra, com 252 hectares e rica biodiversidade.

A alta fragmentação florestal da paisagem, especialmente nas bacias hidrográficas dos rios Atibaia e Capivari, juntamente com o diagnóstico da alta prioridade de restauração indicam a necessidade de um amplo investimento na recuperação da vegetação nativa. A política de mananciais do município prevê a implantação de Planos Municipais de Mata Atlântica e do Cerrado, os quais devem estar integrados à implantação de infraestrutura natural.

Há de se destacar o heterogêneo mosaico de uso e cobertura do solo existente nas bacias, com padrões que variam ao longo de sua extensão. Enquanto na região mais a montante, na cabeceira da bacia, há uma relativa presença de fragmentos de mata nativa e reflorestamento (silvicultura), nas porções mais próximas aos pontos de captação de água da Sanasa, já é possível observar uma presença mais significativa de áreas edificadas. A Figura 3 ilustra a paisagem atual na região.

Figura 3 | Mapa de uso e cobertura atual nas bacias hidrográficas dos rios Atibaia e Capivari



Fonte: Agência das Bacias PCJ (2018).

Ações de restauração florestal conduzidas na região mostram que há interesse e motivação de diversos atores ao engajamento em estratégias de infraestrutura natural para água. Entre elas, encontram-se iniciativas vinculadas ao Programa Nascentes, do Governo do Estado de São Paulo, e à Sanasa, ambos em parceria com a Prefeitura Municipal de Campinas. Além disso, o comitê de bacias lidera outros projetos vinculados ao uso dos recursos de cobrança pelo uso dos recursos hídricos e deliberados para aplicação na região das Bacias PCJ.

No âmbito do Programa Nascentes, também se encontram projetos compromissados ou disponíveis para contratação, inseridos na Prateleira de Projetos do programa. Tais projetos são executados ou viabilizados em conjunto com diferentes atores, envolvendo organizações privadas, como Da Serra Ambiental, Ceiba Consultoria Ambiental, Centro Ambiental Consultoria e Projetos de Meio Ambiente e Tríade Consultoria Ambiental, e organizações não governamentais sem fins lucrativos, como Iniciativa Verde e SOS Mata Atlântica. O programa também possui um Banco de Áreas composto por Unidades de Conservação, assentamentos e propriedades rurais com passivo em APP, que são indicadas para restauração por terceiros.

O Programa Reconecta RMC, que envolve esforços das prefeituras da região metropolitana, apoiado por iniciativas como INTERACT-Bio e Cities4Forests, demonstra que é possível obter retorno ao investir em serviços ecossistêmicos.

O Reconecta RMC está inserido no Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado (PDUI) da RMC e demonstra ser um elemento norteador para o programa de pagamentos por serviços ambientais do município de Campinas, por exemplo.

O Programa de Pagamentos por Serviços Ambientais do município de Campinas (Lei Municipal nº 15.046/2015) é um instrumento de incentivo monetário às iniciativas que favorecem a manutenção, a recuperação ou o melhoramento de ecossistemas, em especial pela produção de água. Atualmente, a Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Campinas (SVDS) coordena e implementa o referido programa em 17 propriedades habilitadas – que já implementaram ou estão implementando as adequações ambientais necessárias –, através de edital público. A secretaria também conduz análises técnicas em mais de 150 propriedades que já receberam incentivos não monetários, por meio de outros programas da pasta, como reflorestamento em áreas protegidas (Recuperação de Nascentes e Áreas Ciliares – PReNAC Rural) e doação de sistemas de tratamento de esgoto (Saneamento Rural Sustentável – PSRS).

A combinação das iniciativas pela restauração já empreendidas no território pode dar mais eficiência aos recursos alocados por mecanismos financeiros existentes, já que não são suficientes para a demanda atual. Conectar ações de restauração florestal aos incentivos e identificar prioridades pode apoiar a captação e destinação de investimentos de forma mais eficiente. Alguns exemplos se destacam no incentivo e fortalecimento da agenda da restauração florestal em Campinas e região: o Fundo de Desenvolvimento Metropolitano de Campinas (Fundocamp – Lei Estadual Complementar nº 870/2000 e Decreto nº 50.553/2006), vinculado à Agência Metropolitana de Campinas (Agemcamp), que aplica recursos de interesse comum dos municípios que compõem a RMC, bem como o Fundo de Recuperação, Manutenção e Preservação do Meio Ambiente (Proamb – Lei Municipal nº 9.881/1998), vinculado à SVDS, que recebe entradas contínuas (royalties de petróleo) e não contínuas (taxas e multas).

O levantamento de dados sobre as principais fontes de recursos investidos em programas relacionados à abordagem deste estudo, no período analisado de 2011 a 2019, permitiu identificar: (i) projetos financiados via Fundocamp com aporte financeiro total estimado em R$ 1,9 bilhão, (ii) projetos do Comitê de Bacias PCJ – destes, aproximadamente R$ 85 milhões oriundos da cobrança federal (Cobrança PCJ Federal) e R$ 137 milhões de cobrança estadual (Cobrança PCJ Paulista) –, (iii) contratações com recursos do Fehidro (Fundo Estadual de Recursos Hídricos) que totalizaram o valor previsto de R$ 13,7 milhões. Em suma, as informações levantadas combinadas aos resultados apresentados a seguir demonstram a consonância entre a abordagem deste estudo e a aplicação de recursos na gestão hídrica da região de abrangência estudada.

DEMANDAS PARA A AMPLIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA NATURAL EM CAMPINAS E REGIÃO

A restauração das florestas e ecossistemas é justificada pelo reconhecimento de seu valor imaterial. Traz benefícios ambientais relacionados à conservação da biodiversidade e sociais como a promoção do bem-estar. Além disso, existem benefícios econômicos gerados a partir de bens que vão de produtos madeireiros e não madeireiros a serviços ecossistêmicos, como recarga de aquíferos, refúgio de polinizadores, conforto térmico etc.

Na atual crise climática, diante da previsão de impactos relacionados à crise hídrica cada vez maiores nas cidades, a restauração de florestas é um ativo importante para mitigação, adaptação e recuperação da resiliência de ecossistemas naturais. Pode ser motivada por obrigatoriedade legal, seja pela reparação de danos ou regularização ambiental ou, diferentemente, por iniciativas voluntárias públicas e privadas (Batista et al., 2019).

Considerando as diferentes motivações das diversas iniciativas de restauração, foram identificados desafios específicos que ainda precisam ser tratados na agenda de infraestrutura natural em Campinas e região, dos quais quatro se destacam.

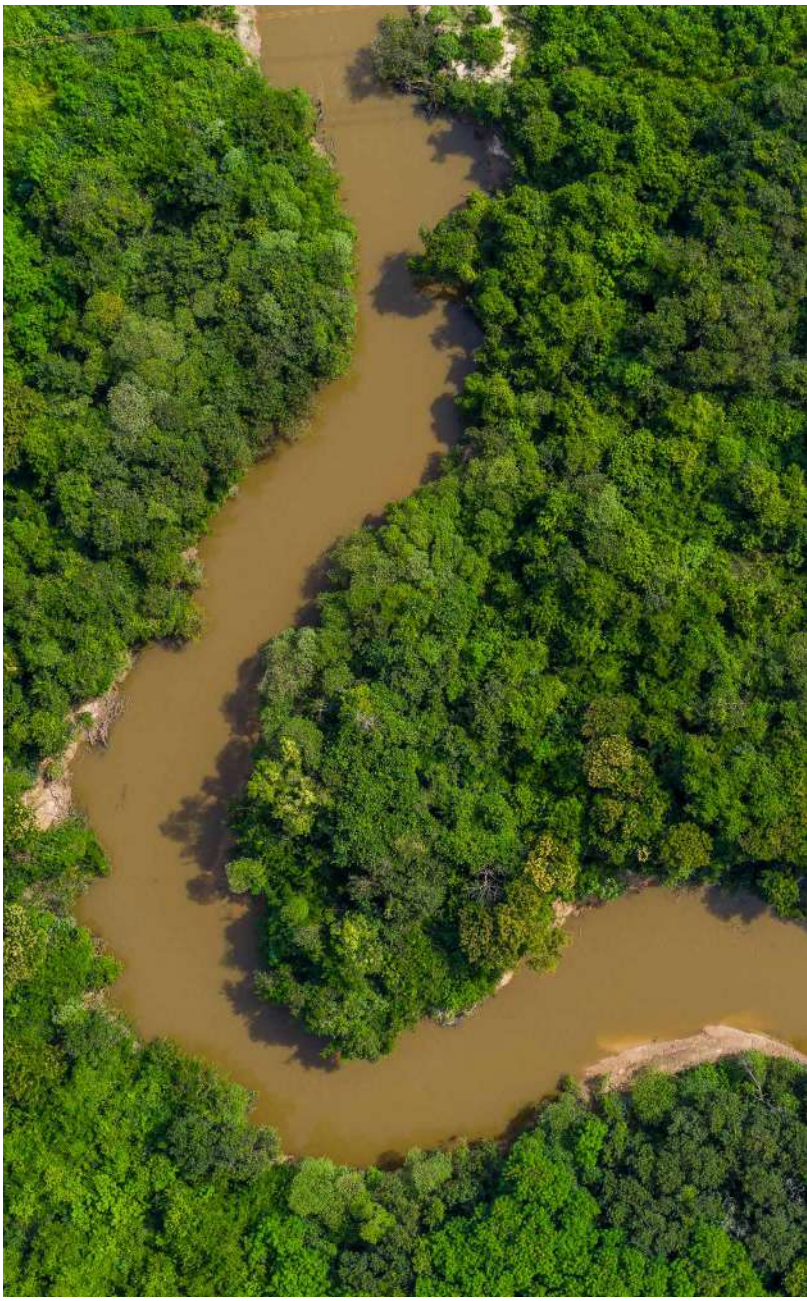
1. Avaliar corretamente os benefícios da restauração para a gestão hídrica: os benefícios econômicos da restauração são geralmente ignorados, de modo que a atividade é sempre vista apenas sob a ótica de custo, sem a justa contrapartida dos benefícios gerados.

2. Credenciar a infraestrutura natural como investimento, não como custo: atualmente a restauração, mesmo com finalidade de proteção de mananciais, não é reconhecida contabilmente como investimento, o que restringe financiamentos e impede sua alavancagem via revisão tarifária, por exemplo.

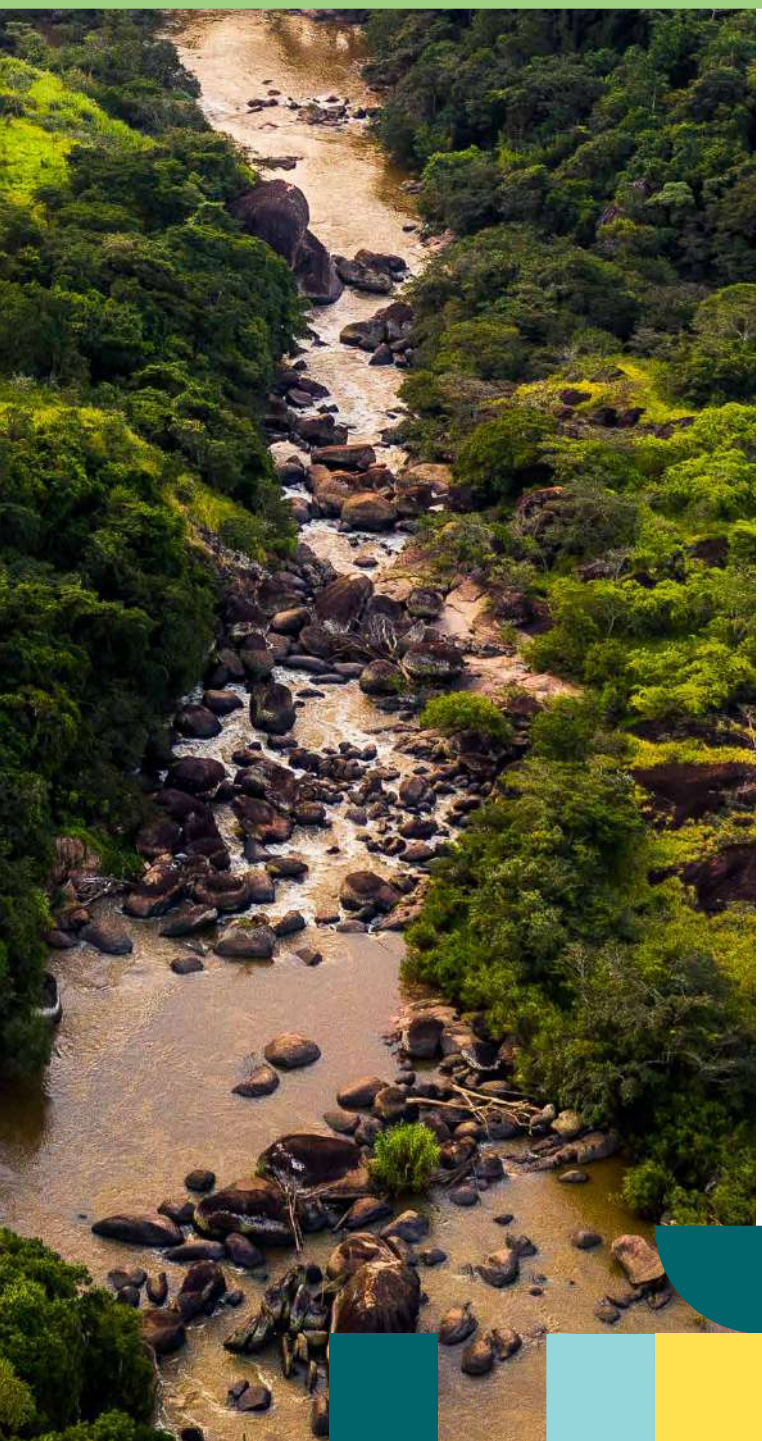
3. Garantir e ampliar financiamento para infraestrutura natural: os programas de restauração têm sido ambiciosos, mas, como na maior parte do mundo, acessar recursos suficientes para operacionalizar projetos de infraestrutura natural é um desafio contínuo. Embora na região haja mecanismos e estratégias a fim de garantir recursos para restauração, a insegurança quanto ao financiamento levanta questões sobre a viabilidade da implementação de planos de infraestrutura natural, bem como sobre a sustentabilidade em longo prazo.

4. Engajar proprietários rurais para conservar, restaurar e gerenciar a infraestrutura natural: apesar de haver grande déficit de APPs e Reservas Legais (RLs) que deveriam ser regularizadas por força da lei, proprietários rurais da região raramente se engajam em projetos de restauração por diversos motivos, entre eles, ausência de investimentos em extensão rural e assistência técnica direcionadas à restauração.

Considerando esses quatro desafios, este estudo traz contribuições através da análise de dados locais, compartilhados pela Sanasa, revisão de literatura, consultas às partes interessadas e modelos biofísicos e financeiros, demonstrando os benefícios que a restauração gera na melhoria da qualidade da água, sob o parâmetro da turbidez, bem como nos aspectos econômicos relacionados aos custos aplicados no tratamento dessa turbidez.



AVALIAÇÃO DA INFRAESTRUTURA NATURAL PARA CONTROLE DE SEDIMENTOS



Este capítulo apresenta os resultados da Avaliação de Investimento em Infraestrutura Natural que contabiliza benefícios da infraestrutura natural para a água em Campinas e região, bem como custos e benefícios incorridos em projetos de restauração por compensação ambiental de reservatórios. Também resume os métodos adotados, resultados biofísicos e benefícios da infraestrutura natural orientada para melhoria da qualidade da água.

METODOLOGIA

A Avaliação de Investimento em Infraestrutura Natural (GGA – sigla em inglês para *Green-Gray Assessment)* permite analisar o desempenho financeiro geral de diferentes opções de investimento em infraestrutura natural (verde) e construída (cinza), examinando cada uma das prioridades comuns identificadas pelas partes interessadas locais, e provê recomendações para o projeto a fim de otimizar resultados (Gray et al., 2019). Esta abordagem se baseia nos métodos da GGA/WRI (Gray et al., 2019; Gartner et al., 2013) e na Avaliação de Disponibilidade de Investimentos para Bacias Hidrográficas (*Watershed Investment Readiness Assessment*) (Ozment et al., 2016). Também foram utilizadas ferramentas da Metodologia para Avaliação de Oportunidades de Restauração (ROAM, sigla em inglês) (IUCN e WRI, 2014) para qualificar a análise, especialmente nas etapas de identificação de atores-chave do contexto social, da gestão estratégica e dos objetivos de investimento em infraestrutura natural.

Dessa forma, são seis passos detalhados a seguir:

O primeiro passo define os objetivos da infraestrutura natural pretendidos com a conservação ou implementação da restauração florestal. Essa etapa contou com a contribuição de partes interessadas após mesas de discussão, workshops, consultas bilaterais e multilaterais capitaneadas pelo WRI Brasil (Apêndice A). Além disso, a definição dos objetivos levou em consideração fontes de informação de documentos públicos elaborados pelas instituições atuantes na região.

No segundo passo, são especificados os cenários de avaliação, elaborados de modo que possibilite comparar e quantificar o alcance dos objetivos, a depender da escala e do tipo de estratégia adotada para a infraestrutura natural. Entre os cenários propostos, há um referencial, considerado linha de base, que representa a condição presente em que nenhum esforço adicional de infraestrutura natural é realizado. Todos os demais cenários são comparados com essa linha de base (Apêndice A).

O terceiro passo estima os benefícios biofísicos (Apêndice B). Tais benefícios são medidos em unidades biofísicas quantitativas, como, por exemplo, toneladas de sedimentos, metros cúbicos de água, concentração de sólidos suspensos ou níveis de turbidez. Esses resultados são comparados com os valores estimados para a linha de base, como se fossem comparações típicas de "antes" e "depois" dos investimentos em infraestrutura natural. As diferenças encontradas são assumidas como adicionalidades resultantes dos serviços ecossistêmicos prestados pela infraestrutura natural, como sedimentos evitados, turbidez reduzida etc.

O quarto passo calcula os benefícios econômicos através da monetização dos serviços ecossistêmicos fornecidos ou adicionados pela infraestrutura natural, computados na etapa anterior. Aqui são precificados os benefícios em termos de custos ou depreciações evitadas, sendo, portanto, não geradores de caixa. As estimativas aparecem como economia gerada pela quantidade de produtos químicos que deixam de ser consumidos devido às reduções na turbidez, aos custos evitados de dragagem ou à diminuição da depreciação de equipamentos decorrentes,

por exemplo, da redução da abrasividade promovida por menores concentrações de sólidos suspensos na água tratada (Apêndice C).

O quinto passo compara custos e benefícios econômicos entre os cenários. Aos custos de conservação ou implantação da infraestrutura natural são contrapostos os seus benefícios gerados. Tais análises financeiras são baseadas em fluxos de caixa descontados, através do cálculo de indicadores convencionais, como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Período de Retorno (*payback*). Análises de sensibilidade são elaboradas a fim de avaliar o comportamento da performance financeira da infraestrutura natural diante de variações importantes em taxa de desconto, eficiência florestal na retenção de sedimentos e custos da restauração (Apêndice C).

Por fim, **o sexto passo consiste em recomendações para auxiliar a gestão estratégica dos projetos de infraestrutura natural** dirigidas a tomadores de decisão e partes interessadas locais e regionais. Essas recomendações visam a informar sobre possíveis ações de investimento de companhias e empresas de saneamento e do poder público para a gestão hídrica (Apêndice C).

Figura 4 | Metodologia GGA/WRI

Fonte: Elaborado pelos autores. Adaptado de Gray et al. (2019).

CENÁRIOS DE AVALIAÇÃO

Neste estudo, os cenários de investimentos em infraestrutura natural foram previamente definidos pelas partes interessadas no atendimento a demandas específicas que buscavam entender: (1) qual papel a vegetação nativa na região exerce atualmente na manutenção da qualidade da água e qual o valor desses serviços prestados pela infraestrutura natural? (2) Quanto poderia ser adicionado em serviços ambientais para a qualidade da água com a expansão da infraestrutura natural através da restauração florestal de áreas degradadas? E (3) quais benefícios poderiam ser alcançados com a restauração florestal prevista em empreendimentos específicos já programados na região?

Para fazer frente a essas questões, três cenários foram avaliados, além do cenário de referência (linha de base). Em todos os cenários, os fatores climáticos foram considerados constantes e as demandas por água seguiram as funções de crescimento populacional e elasticidade do consumo, resultando em demandas próximas às previstas pelo Comitê de Bacias PCJ. Também foi assumido que não haveria mudanças no uso e cobertura do solo nas bacias, salvo quando explicitamente indicadas nos cenários.

Os cenários propostos são:

- **Referência (REF) – Linha de base que representa a situação atual das bacias em relação ao uso do solo e sua implicação na produção de sedimentos e turbidez da água.** Reflete o *status quo* e, portanto, é referência para todos os outros cenários. Os benefícios da conservação ou restauração da infraestrutura natural são sempre contabilizados como ganhos para além da linha de base, enquanto a supressão de vegetação são perdas em relação a esse referencial.
- **Perda de Vegetação em Grande Escala (P76000) – Todos os remanescentes de vegetação nativa atualmente existentes na bacia são convertidos em pastagens.** Esse cenário, mesmo improvável, tem como objetivo avaliar o papel da vegetação atual no controle da erosão e na manutenção dos níveis de turbidez. Revela ainda qual seria o impacto na qualidade da água em decorrência da supressão de 76 mil hectares de florestas. A análise financeira relativa a esse cenário considera os benefícios gerados pela conversão da vegetação, descontados à taxa de desconto social de 5% ao ano, ao longo do horizonte de 40 anos. A taxa de desconto representa a taxa de desconto social estimada para o Brasil (Lopez, 2008).
- **Restauração em Grande Escala (R14000) – Restauração de 14 mil hectares ocupados atualmente por pastagens degradadas, além da conservação de todos os remanescentes de vegetação nativa existentes.** Esse cenário mensura os benefícios adicionais que poderiam ser alcançados com a restauração florestal em áreas já desmatadas e com baixa agregação de valor para a economia rural, considerando os 14 mil hectares de pastagens com os mais altos níveis de degradação da região. Os benefícios gerados por esse incremento florestal são estimados à taxa de desconto social de 5% ao ano, ao longo de 40 anos.
- **Restauração e Compensação de Reservatórios (R800) – Restauração de 800 hectares compensatórios à supressão de vegetação e formação de APP dos dois reservatórios em construção na região.** Esse cenário mensura custos e benefícios da restauração de 800 hectares como compensação e formação de APP das novas barragens. Dessa área, 427 hectares serão restaurados no entorno das barragens, em faixas de 100 metros de largura, como exige o Código Florestal. Outros 373 hectares referentes

à compensação de supressão serão restaurados nas áreas da bacia do rio Atibaia que apresentam maior nível de produção de sedimentos e, portanto, melhor relação de custo-efetividade (ver Tabela 1).

Para os custos de restauração, foram considerados os referenciais estimados para o Programa Reconecta RMC, assumindo como investimento os valores de implantação da restauração. Inclui-se o custo de oportunidade da terra, equivalente ao valor de arrendamento de pastagens de baixa produtividade, seguindo os valores publicados no Instituto de Economia Agrícola (IEA, 2021), a saber, de R$ 300 por hectare ao ano. Adicionou-se ainda 12% sobre o valor total dos investimentos como custo de transação. Os benefícios foram estimados conforme os demais cenários, isto é, restritos ao custo evitado no tratamento de água devido à implantação da infraestrutura natural ou à própria restauração de 800 hectares. O horizonte do projeto foi de 40 anos com taxa de desconto de 5% ao ano.

A Tabela 2 resume os principais atributos e objetivos de cada um dos cenários testados.

Tabela 2 | Cenários, objetivos e resultados esperados

CENÁRIO	MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO DA INFRAESTRUTURA NATURAL	OBJETIVO	MÉTODO DE MUDANÇA NA COMPOSIÇÃO DA INFRAESTRUTURA NATURAL	RESULTADOS ESPERADOS
REF	Nenhuma mudança	Estabelecer a linha de base (referência) de sedimentos exportados e níveis de turbidez da água	Nenhum	Sedimentos exportados (t/ano), concentração de sólidos suspensos (mg/L) e turbidez média (UNT) nas condições atuais
P76000	Perda dos 76 mil ha de florestas atualmente existentes na região de estudo	Estimar os serviços atualmente prestados pelas florestas na retenção de sedimentos e diminuição da turbidez da água	Extração hipotética – Simula-se a substituição de florestas por pastagens	Aumentos de sedimentos exportados (t/ano), concentração de sólidos suspensos (mg/L) e turbidez média (UNT) em relação aos valores do cenário de referência
R14000	Restauração florestal dos 14 mil ha atualmente ocupados por pastagens, em moderado e alto graus de degradação	Estimar os serviços adicionalmente prestados pela restauração de florestas em larga escala na paisagem	Adição hipotética – Simula-se a substituição de pastagens por florestas	Diminuições de sedimentos exportados (t/ano), concentração de sólidos suspensos (mg/L) e turbidez média (UNT) em relação aos valores do cenário de referência
R800	Restauração florestal de 427 ha no entorno dos reservatórios e de 373 ha atualmente ocupados por pastagens com o mais alto grau de degradação na região	Estimar os serviços adicionalmente prestados pela restauração de florestas especificamente localizadas	Adição hipotética – Simula-se a substituição de pastagens por florestas	Diminuições de sedimentos exportados (t/ano), concentração de sólidos suspensos (mg/L) e turbidez média (UNT) em relação aos valores do cenário de referência

Fonte: Elaborado pelos autores.

OS BENEFÍCIOS BIOFÍSICOS DA INFRAESTRUTURA NATURAL

As estimativas biofísicas realizadas no passo 3 da GGA/WRI constatam que a bacia do rio Atibaia recebe uma descarga anual de 62 mil toneladas de sedimentos em função da erosão dos solos, com média de 270 kg por hectare ao ano, enquanto a porção do rio Capivari, a montante da captação de Campinas, recebe descarga anual de 18 mil toneladas de sedimentos, com média de 770 kg por hectare ao ano. Considerando as curvas estimadas de conversão de sedimentos para sólidos suspensos e desses para turbidez, os resultados apontam níveis médios de sólidos em suspensão de 190 e 280 mg por litro nos rios Atibaia e Capivari, respectivamente, e com níveis médios de turbidez de 38 e 87 UNT. Assim, no cenário base REF estimou-se um total de sedimentos exportados anualmente da ordem de 70 mil toneladas, com concentração média de 206 mg por litro de sólidos suspensos e turbidez média de 44 UNT.

A comparação do cenário P76000 com o cenário base REF elucida os benefícios da manutenção da vegetação. Os 76 mil hectares de vegetação nativa que compõem os remanescentes florestais nas bacias estão assentados especialmente em áreas de difícil acesso – provavelmente por isso mesmo ainda preservados – e têm naturalmente maior fragilidade à erosão, já que estão postados em regiões com alta declividade, topos de morro e áreas de várzea ou matas ciliares. A preservação da cobertura vegetal previne a descarga adicional de 34 mil toneladas de sedimentos por ano, o que equivale a afirmar que cada hectare preservado de floresta presta hoje um serviço ecossistêmico referente a 436 kg por ano em termos de descarga evitada de sedimentos.

A perda da vegetação implicaria aumento da turbidez média em quase 70%, saltando dos atuais 44 para 75 UNT. A perda dessa vegetação teria um impacto significativo nas operações de tratamento de água, que demandariam consumo adicional de produtos químicos e energia, tal como atualmente ocorre no trimestre mais chuvoso. No rio Atibaia, a turbidez média entre dezembro e fevereiro, meses da estação chuvosa, nos quais a vazão de água é elevada, foi calculada em 92 ± 28 UNT contra 28 ± 17 UNT nos demais meses do ano, enquanto no rio Capivari, a média de 152 ± 67 UNT contra 85 ± 64 UNT, considerando os mesmos períodos do ano.

A conservação dos remanescentes florestais é relevante para a manutenção da qualidade da água, mas o manejo dos sedimentos sob a perspectiva da infraestrutura natural deve ir muito além. Os 30 municípios da RMC e a montante têm conjuntamente um déficit de 36 mil hectares de APP e de 8 mil hectares de RL, de modo que deveriam ser restaurados 44 mil hectares, somente para adequação ao Código Florestal.

Atualmente, dos 140 mil hectares de pastagens existentes na região, 10% estão em nível de degradação de moderado a alto (Lapig, 2021) – sendo, portanto, utilizados economicamente de maneira muito ineficiente –, dos quais 73% se localizam em áreas que deveriam ser conservadas como APP. Se esses 14 mil hectares fossem restaurados como obriga a lei, e como sugerido no cenário R14000, poderia se esperar uma diminuição em torno de 9% dos sedimentos exportados aos cursos d'água em relação ao nível atual (7,5 mil t/ano), reduzindo a turbidez média em 14% no rio Atibaia e 17% no rio Capivari. Operacionalmente, as empresas de saneamento poderiam usufruir do equivalente a um trimestre a mais por ano com níveis de turbidez média que atualmente só são registradas na época seca, entre maio e outubro. Em termos médios, a restauração dos 14 mil hectares diminuiria a descarga de sedimentos na ordem de 6,5 mil toneladas ao ano, reduzindo a turbidez em quase 10% em relação às condições médias.

A restauração de 14 mil hectares requer a mobilização de um conjunto de tomadores de decisões locais, a começar pelos próprios produtores rurais, que precisam fazê-lo em cumprimento à lei. No entanto, muitas vezes carecem de orientação técnica, apoio financeiro e mesmo de incentivos diretos e indiretos

para a recuperação de áreas degradadas e a restauração florestal. Ainda que haja iniciativas locais como as elencadas no Capítulo 1, os esforços a serem despendidos para alcançar a restauração em escala para adequar as propriedades rurais e ainda beneficiar toda a paisagem precisam ser muito mais ambiciosos.

Considerar impactos e cenários ambiciosos de longo prazo é essencial, porém, ações em pequena escala no curto prazo já trariam benefícios consideráveis. A restauração de 800 hectares, para formação de APP e compensação a que se refere o cenário R800, seria capaz de reduzir os sedimentos exportados em cerca de 3,2 mil toneladas por ano, baixando a turbidez média em 4% em relação ao cenário de referência. Apesar de parecer modesta, essa queda na turbidez traria significativos benefícios econômicos em termos de custos evitados no tratamento de água no longo prazo, como descrito no próximo subcapítulo.

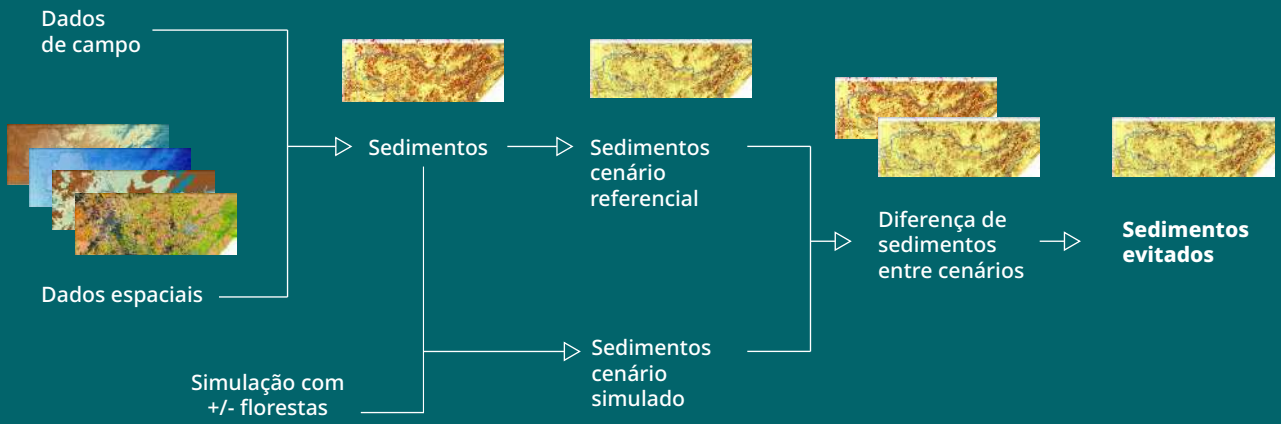
Tabela 3 | Resultados biofísicos dos cenários

RESULTADOS BIOFÍSICOS	REF	P76000	R14000	R800
Sedimento total exportado nos pontos de captação (t/ano)	70.000	104.000	63.500	66.800
Sólidos suspensos totais na captação (mg/L)	206	317	198	206
Turbidez na captação (UNT)	44	75	40	42

Fonte: Elaborado pelos autores.

BOX 1 | MENSURAÇÃO DOS BENEFÍCIOS BIOFÍSICOS DA INFRAESTRUTURA NATURAL

As mudanças biofísicas causadas pela infraestrutura natural são estimadas através do uso do modelo InVEST (Sharp et al., 2020) combinado com calibrações de dados obtidos em campo.



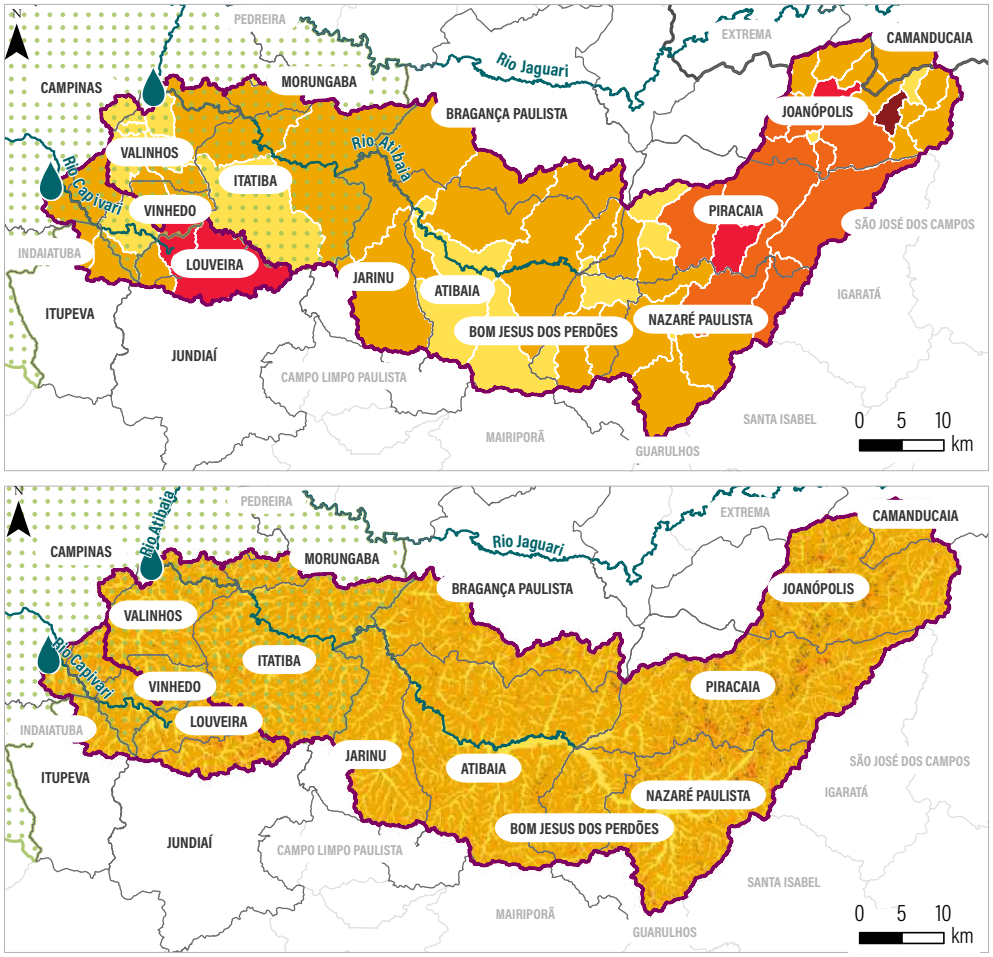
Fonte: Elaborado pelos autores.

A primeira etapa consiste em estimar os atributos existentes na bacia de interesse tal qual se apresentam atualmente, sendo considerados atributos do cenário de referência. Dados espaciais, como erodibilidade e erosividade do solo, modelo digital de terreno, uso e cobertura da terra e outros, são interpolados por funções específicas do InVEST, no caso, a função chamada SDR (*Sediment Delivery Ratio*, em português, Taxa de Transferência de Sedimentos), de modo a estimar a exportação de sedimentos na bacia. Dados de campo, que neste estudo foram coletados e compartilhados pela Sanasa (sólidos em suspensão e turbidez em 10 pontos dos rios Atibaia e Capivari), são imputados para calibrar a função SDR, a fim de aproximar o máximo possível os resultados das simulações aos resultados obtidos em campo.

Uma vez feita a calibragem, os resultados espaciais que mais se aproximam dos dados de campo são considerados parâmetros ideais para mensurar os sedimentos exportados no cenário de referência. Um mapa de sedimentos da bacia é gerado com ranking pixel a pixel das áreas com maior exportação de sedimentos. No caso deste estudo, essa leitura fica restrita a sedimentos produzidos nos pixels atualmente classificados como pastagens (cada pixel corresponde a uma área aproximada de um quadrado de 30x30 metros, ou seja, aproximadamente 900 m²). A Figura 5 representa uma síntese dos resultados dessa primeira etapa, ilustrando as estimativas médias de exportação de sedimentos por microbacia. Assim, torna-se possível identificar as porções da bacia que tendem a ter maior contribuição na exportação total de sedimentos.

Na segunda etapa, o modelo InVEST simula as situações hipotéticas com dados espaciais e parâmetros modificados. No mapa de uso e cobertura da terra são feitas substituições de pastagens por florestas ou vice-versa (simulando restauração ou desmatamento, respectivamente) em áreas suficientes para atingir os objetivos definidos em cada cenário, sempre seguindo ordem decrescente de exportação de sedimentos, pixel a pixel, a fim de otimizar o efeito substituição. O volume total de sedimentos desse novo cenário é, então, comparado com o volume no cenário de referência (terceira etapa), e as diferenças são consideradas resultantes da infraestrutura natural (detalhes nos apêndices).

Figura 5 | Estimativa de sedimento exportado para as sub-bacias dos rios Atibaia e Capivari



Fonte: Elaborado pelos autores.

OS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA INFRAESTRUTURA NATURAL

Para além dos benefícios biofísicos gerados na redução da erosão do solo (sedimentação) e na melhoria da qualidade da água, benefícios econômicos podem ser aferidos pela aplicação das curvas de custo em função da variação da turbidez, projetadas a partir dos dados primários cedidos pela Sanasa. Os custos estimados para as sub-bacias dos rios Atibaia e Capivari se apresentam na Tabela 4.

Tabela 4 | Custos operacionais de referência para tratamento, limpeza e depreciação de equipamentos utilizados no manejo de sedimentos e turbidez da água (em centavos R$/m³)

	ATIBAIA	CAPIVARI	MÉDIA PONDERADA
Produtos químicos	12,63	15,01	13,30
Reposição de areia	0,03	0,06	0,03
Reposição de antracito	0,07	0,13	0,07
Manejo do lodo	1,33	2,45	1,34
TOTAL	**14,06**	**17,65**	**14,73**
Depreciação e desgaste de equipamentos	2,38	4,38	2,39

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de dados fornecidos pela Sanasa, em 2020.

Extrapolando para toda a região de estudo e ponderando que a área do manancial do rio Capivari representa menos de 10% da área total (microbacia de apenas 25 mil hectares) e 6% do volume captado, a curva de custo médio em função da turbidez média (Grey et al., 2019) se apresenta conforme a equação abaixo:

$$C = 0{,}059 * T^{0{,}208}$$

Onde **C** é o custo de tratamento em R$ e **T**, o nível de turbidez em UNT.

Considerando a curva estimada, os 76 mil hectares de vegetação nativa, que compõem os remanescentes florestais nas bacias, prestam serviços de retenção de sedimentos e turbidez evitada da ordem de R$ 6,6 milhões por ano. Essa economia é possível em função dos custos evitados na utilização de produtos químicos que seriam necessários para tratar os quase 215 bilhões de litros de água demandada anualmente pela população da região, caso o nível de turbidez fosse elevado dos atuais 44 para 75 UNT se as florestas fossem desmatadas e ocupadas por pastagens degradadas. Esses serviços equivalem a nada menos do que 53% do dispêndio da Sanasa com produtos químicos utilizados no tratamento anual de quase 100 milhões de metros cúbicos de água.

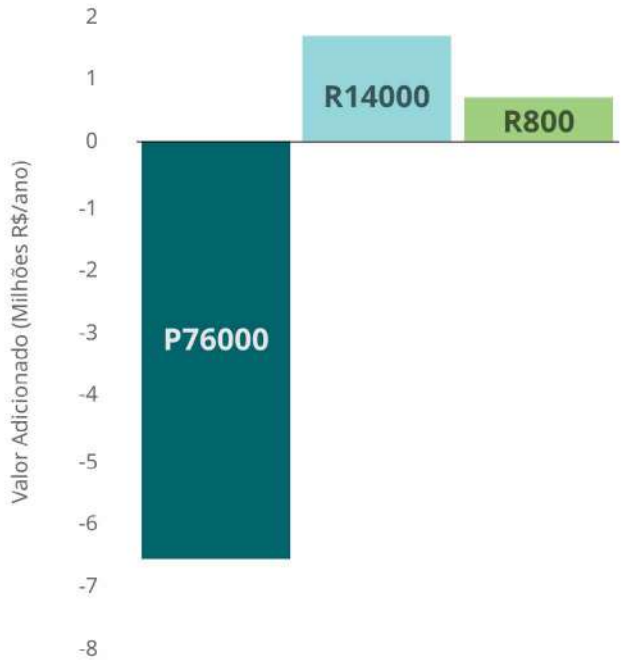
Se, além da manutenção da infraestrutura natural instalada, sua expansão fosse promovida por meio da restauração florestal de pastagens degradadas, conforme os diferentes cenários propostos, seriam adicionados benefícios anuais variando de R$ 693 mil (R800) a R$ 1,7 milhão (R14000).

Duas importantes premissas devem ser elucidadas.

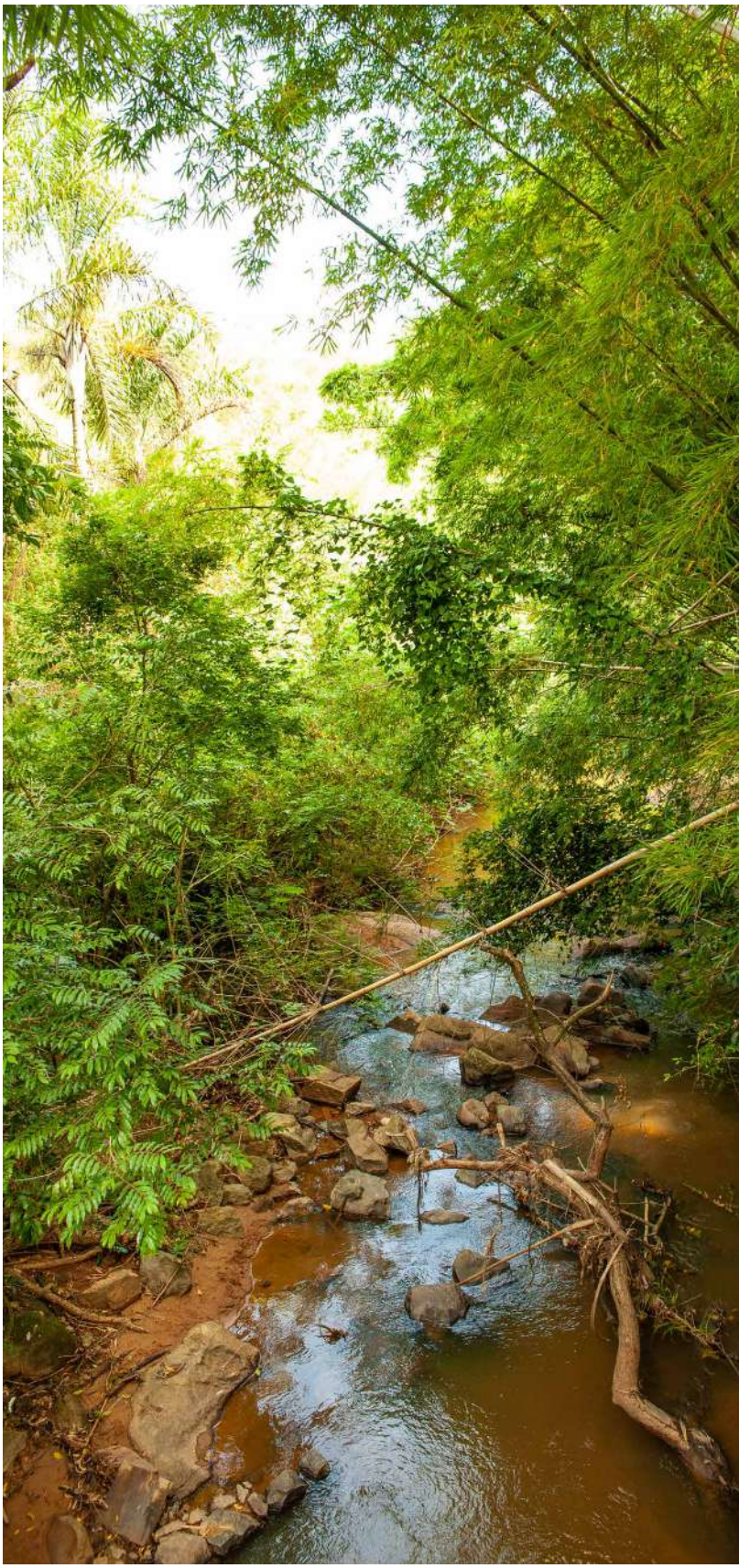
1. A floresta restaurada gera benefícios crescentes e proporcionais ao próprio crescimento e desenvolvimento da estrutura florestal, demorando cerca de 50 anos para atingir sua capacidade máxima de retenção de sedimentos. Os benefícios aqui considerados refletem a média dos primeiros 40 anos, de modo que se poderia esperar benefícios muito superiores a esses com a apreciação da infraestrutura natural e perpetuação da floresta restaurada (detalhes no Apêndice C).

2. Os benefícios gerados pelos diferentes cenários não são proporcionais às áreas restauradas porque seguem gradientes de priorização de áreas com maiores níveis de sedimentação. Sendo assim, a eficiência marginal na retenção de sedimentos é decrescente conforme se ampliam as áreas a serem restauradas.

Figura 6 | Valor adicionado da infraestrutura natural nos diferentes cenários analisados



Fonte: Elaborado pelos autores.
Nota: o gráfico indica os benefícios gerados pela infraestrutura natural existente (florestas atuais) e benefícios adicionais que poderiam ser obtidos em cenários alternativos de expansão da infraestrutura natural (restauração).



BOX 2 | MENSURAÇÃO DOS BENEFÍCIOS ECONÔMICOS DA INFRAESTRUTURA NATURAL

A mensuração dos benefícios econômicos resultantes da infraestrutura natural se dá em três etapas.

Na primeira etapa, as mudanças biofísicas resultantes da infraestrutura natural são medidas em termos de sedimentos carreados para os cursos d'água e, para tanto, esses sedimentos (t/ano) estimados nos cenários de referência e alternativo são convertidos em sólidos em suspensão (mg/L), utilizando-se a seguinte função de conversão para carreados para os cursos d'água, sugerida por Carvalho (2008).:

$$ss = s/10,4 * 0,087$$

Onde SS corresponde a sólidos em suspensão (mg/L), S são sedimentos exportados (t/dia), 10,4 é o fluxo médio de água (m^3/s) no rio Atibaia no ponto de captação (Agência das Bacias PCJ, 2020) e 0,087 é a constante de conversão

Na segunda etapa, as concentrações de sólidos em suspensão são convertidas para turbidez, segundo função estimada a partir de dados pareados de sólido em suspensão e turbidez medidos pela Sanasa, contendo 237 pares em cinco pontos de captação, medidos entre julho de 2013 e dezembro de 2018. A função estimada (R2=0,67) foi:

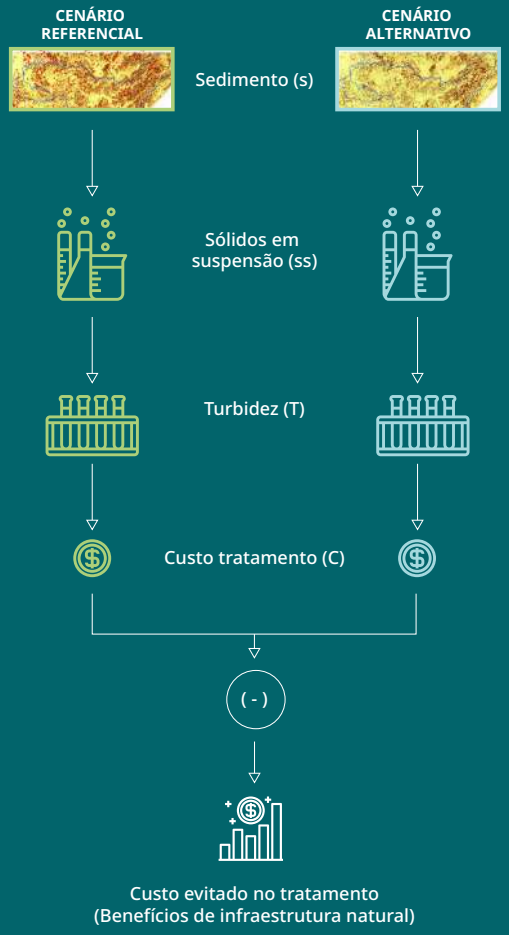
$$T = 0,036 * SS^{1,326}$$

Onde T é o nível de turbidez (UNT).

A terceira etapa consiste em calcular o custo de tratamento de acordo com o nível de turbidez. A equação foi estimada utilizando-se dados primários, cedidos pela Sanasa, sobre turbidez média da água tratada, volume de água tratada e quantidade de produtos químicos utilizados, em valores mensais de janeiro de 2015 a dezembro de 2019, em cinco estações de tratamento de água (ETA). Os valores dos produtos químicos foram estimados em pregões eletrônicos e a função (R2=0,79) resultante foi:

$$C = 0,059 * T^{0,208}$$

Onde C é o custo ($R\$/m^3$) de água tratada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A diferença do custo de tratamento entre os cenários de referência e alternativo é o custo evitado que, multiplicado pelo volume de água tratada, resulta no valor monetário dos benefícios da infraestrutura natural. Outros benefícios, como depreciação evitada e economia no consumo de energia, seguem a mesma lógica, mas, nestes casos, os parâmetros utilizados foram as concentrações de sólidos em suspensão em proporções lineares (ver detalhes nos Apêndices B e C).

CUSTOS *VERSUS* BENEFÍCIOS DOS INVESTIMENTOS EM INFRAESTRUTURA NATURAL

A restauração em grande escala, como descrito no cenário R14000, requer a mobilização de diferentes esforços e iniciativas envolvendo comitês e consórcios de bacia, empresas de saneamento, prefeituras, órgãos estaduais, proprietários rurais, empresas com passivos em compensações ambientais e também investidores públicos e privados. É intrínseco às boas práticas de gestão dos recursos hídricos esse esforço conjunto e diversificado.

É importante considerar as restrições técnicas quando se pretende fazer uma análise de investimento em função do caráter difuso tanto dos custos quanto dos benefícios da infraestrutura natural na escala da paisagem. Além disso, trata-se de distintas expectativas de retorno dos investidores e implementadores, portanto, é essencial definir o perfil de investidor e, mesmo que implícito na taxa de desconto, determinar claramente o principal beneficiário para distinguir as receitas esperadas e as eventuais externalidades, o horizonte do projeto, as expectativas de retorno etc.

Em outras palavras, é uma questão de perspectiva de negócio. Na escala da paisagem, os benefícios estimados em R$ 1,7 milhão por ano no cenário R14000, devido à diminuição da turbidez, podem ser uma externalidade positiva para a sociedade e para as próprias empresas de saneamento, caso não sejam elas a promoverem a restauração. Por outro lado, se essas empresas forem as promotoras da restauração, proprietários rurais que cederam ou arrendaram terras para esse fim gozariam de outros benefícios, como aumento da cobertura florestal para atendimento à legislação, melhoria da proteção do solo, ampliação do refúgio de polinizadores etc.

Já em uma perspectiva tipicamente privada compensatória, geralmente compreendida como custo de adequação ambiental, no cenário R800, considera-se a necessidade objetiva de restaurar 800 hectares para a formação de APP no contorno dos reservatórios e compensação por supressão. O que não se evidencia nessa perspectiva é que tal adequação traz benefícios computáveis. Assim, a restauração deve efetivamente ser traduzida como um investimento, na medida em que pode reduzir a turbidez e os custos de tratamento da água, à parte todos os cobenefícios que a infraestrutura natural traz em termos de conservação da biodiversidade, da proteção direta dos mananciais. Nesse contexto, a implantação da restauração deixa de ser um custo e passa a ser considerada como investimento *upfront*, sendo que os custos se classificam apenas na manutenção da infraestrutura natural, como monitoramento do crescimento da floresta (mesmo valor do pagamento por serviços ambientais).

Parte da restauração no cenário R800 pode contar com a regeneração natural assistida, entendida como o processo de isolamento da área com potencial de restauração espontânea, desde que protegida, por exemplo, pelo cercamento. Com base em mapas de potencial de regeneração natural (ver detalhes nos apêndices), estimou-se que um terço das áreas prioritárias poderia ser restaurado pelo mero cercamento, especialmente entre os 373 hectares fora da constituição das APPs. Os dispêndios necessários em cada tipo de restauração foram considerados conforme a Tabela 5.

Tabela 5 | Dispêndios na implantação e manutenção da infraestrutura natural (restauração florestal ativa e passiva)

	PLANTIO TOTAL (R$/HA)	REGENERAÇÃO NATURAL (R$/HA)
TOTAL	**16.640**	**9.580**
INVESTIMENTOS EM RESTAURAÇÃO FLORESTAL	9.500	3.200
Cercamento	3.200	3.200
Preparação do solo	1.600	0
Controle de formigas e pragas	300	0
Agroquímicos	400	0
Transporte de mudas	50	0
Compra de mudas	1.300	0
Mão de obra (incluindo plantio)	2.650	0
Custos de transação	1.140	380
CUSTOS DE OPORTUNIDADE DA TERRA	6.000	6.000
Pagamento por serviços ambientais (PSA) – ao longo de 20 anos	6.000	6.000

Fonte: Elaborado pelos autores.

Considerando que a restauração florestal é implantada ao longo de três anos, em lotes de 300 hectares no primeiro ano, de 250 no segundo e de 250 no terceiro, e que os custos de oportunidade da terra e de transação incidem por 20 anos após a implantação de cada lote, os custos totais na implantação da infraestrutura natural no cenário R800 seriam equivalentes a R$ 11,5 milhões. O crescimento gradual da floresta e, portanto, o fornecimento proporcional de serviços ecossistêmicos ao longo do horizonte de 50 anos geraria um custo evitado total de cerca de R$ 34,5 milhões, com VPL de R$ 335 mil sob taxa de desconto de 5% ao ano.

ESTRATÉGIAS PARA INFRAESTRUTURA NATURAL NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DO ESTUDO

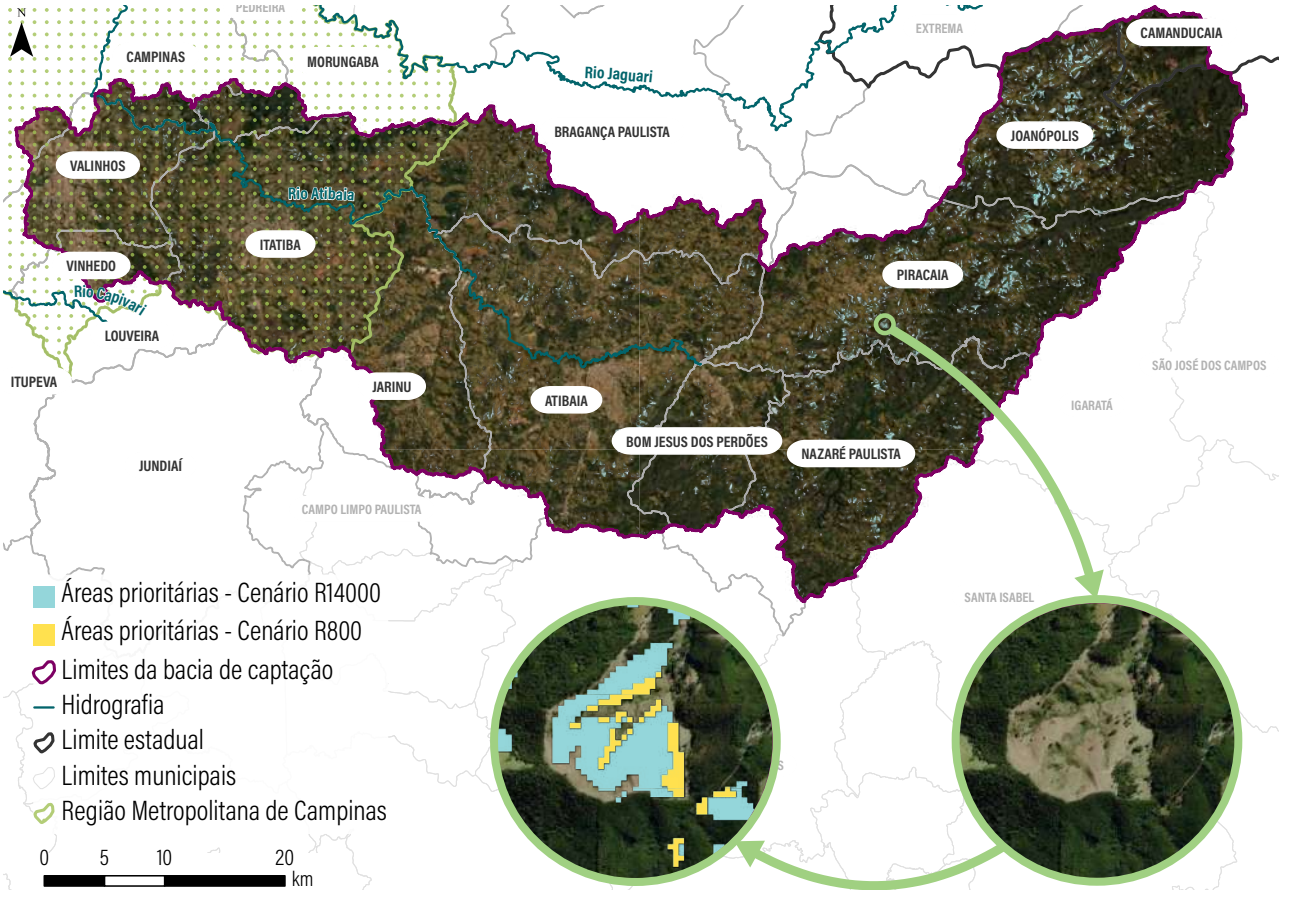
A implementação de infraestrutura requer investimento aliado à estrutura convencional no manejo hídrico. Neste capítulo, são apresentadas estratégias para implementação dos cenários propostos e os principais modelos de investimento e fontes de recursos para seus financiamentos.

A implementação dos cenários de restauração florestal propostos no Capítulo 2 estão em consonância com metas assumidas pelo governo brasileiro sobre compromissos globais voltados à restauração e conservação de florestas e paisagens, além de ações para a mitigação das mudanças climáticas. O Brasil é signatário do Desafio de Bonn, compromisso que busca estimular o processo de restauração em 350 milhões de hectares até 2030, bem como do Acordo de Paris, que objetiva limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C através da redução de emissão de gases de efeito estufa. O país também está alinhado às iniciativas regionais e locais de recuperação dos mananciais, estruturação de corredores de biodiversidade e proteção de ecossistemas sensíveis.

O alinhamento com iniciativas nacionais e regionais é fundamental, sendo desejável que as alternativas de implementação também levem em consideração a viabilidade econômica ou melhores relações de custo-efetividade. Assim, foram identificadas as áreas prioritárias para restauração florestal em cada um dos cenários (exceção ao R800, cujas APPs não são negociáveis) com priorização hierárquica e foco nas porções mais críticas em produção de sedimentos.

Essas áreas concentram-se principalmente nas porções a montante, mais próximas da cabeceira da bacia do rio Atibaia, mas também estão presentes ao longo de toda a sua extensão, o que abre espaço para articulação e engajamento junto a diversos atores locais, iniciativas e políticas públicas já existentes, a depender de sua escala e área de abrangência na região.

Figura 7 | Detalhamento de uma área prioritária identificada para os cenários R14000 e R800



Fonte: Elaborado pelos autores.
Nota: Os cenários não consideram as Áreas de Preservação Permanente, obrigatórias para o segundo cenário.

CONVERGINDO ESFORÇOS EM CAMPINAS E REGIÃO

Restauração florestal é um tema tratado em diversos instrumentos oficiais de planejamento e ordenamento territorial, tais como planos diretores, Plano de Desenvolvimento Urbano Integrado, Planos Municipais e Estaduais de Implementação de Áreas Verdes. Dessa forma, a articulação entre atores e a comunicação entre iniciativas e projetos são de fundamental importância para garantir a continuidade da colaboração técnica, acelerar e dar escala à implementação dos projetos e programas para a conservação da biodiversidade e a restauração de ecossistemas.

No caso específico de Campinas e região, com base nos cenários Restauração em Grande Escala (R14000) e Restauração e compensação de reservatórios (R800), recomenda-se especificamente:

- Alinhar prioridades do Plano de Ação para Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas e do Programa Reconecta RMC com os cenários de restauração apresentados no estudo;
- Apresentar as áreas prioritárias para restauração, identificadas no estudo, nos editais do Programa de Pagamentos por Serviços Ambientais do Comitê de Bacias PCJ;
- Conectar os resultados obtidos neste estudo com as ações de restauração capitaneadas pelo Governo do Estado de São Paulo, alinhados à agenda ambiental global.

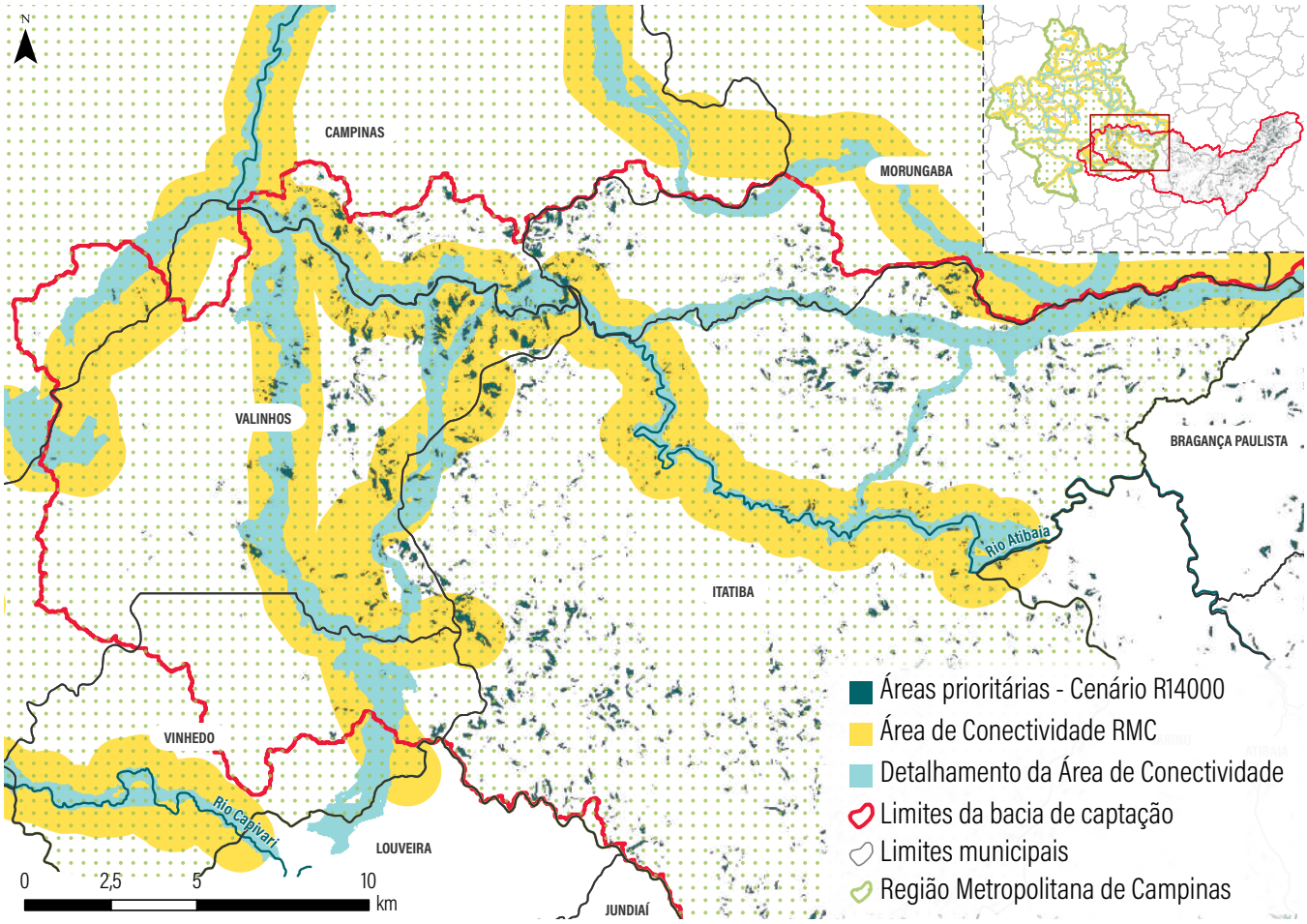
Um exemplo positivo de articulação intersetorial é o recente esforço promovido para a integração das ações pela biodiversidade prevista no Programa Reconecta RMC. SVDS e ICLEI América do Sul, por meio do projeto INTERACT-Bio, lideraram o desenvolvimento de um mapa da área de conectividade que orienta as ações de restauração para a reconexão dos remanescentes florestais na região. Esse esforço gerou o Plano de Ação para Implementação das Áreas de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas (ICLEI, 2021), que é um passo importante para a concretização dos objetivos dessas iniciativas.

Entre as metas desse plano, está prevista a incorporação das diretrizes regionais de biodiversidade em legislação específica de 100% dos municípios da RMC até 2024. E a implementação, até 2030, de 50% (número relativo) da área total (em quilômetro quadrado) dos corredores ecológicos da RMC em relação à linha de base do mapeamento da Área de Conectividade da RMC, realizado pelo WRI Brasil (WRI Brasil, 2020) –, que inclui ações de restauração florestal. Dessa forma, é relevante divulgar e compartilhar os conteúdos desenvolvidos, comunicando de maneira acessível e afeita à extensa gama de atores envolvidos, inclusive, para apoiar a captação de recursos financeiros.

Considerar a sobreposição de áreas prioritárias para restauração, visando à qualidade da água, e o traçado de corredores ecológicos pode servir como fonte de informação que incentive a captação de recursos para implementação, uma vez que envolve o interesse de diversas organizações. Para o caso da sobreposição de áreas, foi considerado o cenário R14000 devido ao maior retorno em número de hectares mapeados em sobreposição e aos benefícios ambientais dessas áreas. Avaliando o total de 14 mil hectares para restauração nesse cenário, nota-se que a maior parte dessas áreas se encontra nos municípios a montante da bacia. No entanto, cerca de 1.640 hectares (11% do total) estão na RMC.

Levando em conta o foco de biodiversidade previsto no plano de ação e as áreas selecionadas no cenário mais ambicioso (R14000), existem aproximadamente 130 hectares comuns aos esforços pretendidos, majoritariamente concentrados nos municípios de Valinhos (62 hectares), Itatiba (34 hectares) e Campinas (25 hectares). A partir desse cenário, os gestores municipais e regionais interessados têm como alocar os recursos necessários tendo em vista a relação custo-benefício das ações. A Figura 8 ilustra essas áreas priorizadas (em verde), assim como a Área de Conectividade da RMC e seu detalhamento.

Figura 8 | Áreas prioritárias para restauração do cenário R14000 em sobreposição com a Área de Conectividade da RMC



Fonte: Elaborado pelos autores.

A união de esforços das instituições envolvidas é recomendada para integrar ações e projetos já em andamento, ou ao menos planejados (desenhados), com o objetivo de alcançar a confluência de projetos e atores interessados na restauração florestal na região.

Destacando ainda a importância da articulação entre as principais partes interessadas, a atuação da Fundação Agência das Bacias PCJ inclui instrumentos de gestão dos recursos hídricos e financeiros arrecadados via cobrança pelo uso das águas dos rios de domínio da União (PCJ Federal); dos rios de domínio do estado de São Paulo (PCJ Estadual), além dos recursos da compensação financeira (*royalties*) do setor hidrelétrico.

O atual Plano das Bacias PCJ orienta o gerenciamento dos recursos hídricos no período de 2020 a 2035. O plano demonstra o pioneirismo da agência sob a ótica de preservação dos seus mananciais através da robustez técnica e gerencial contempladas. Na Política de Mananciais dos Comitês PCJ, o Programa I aborda a recuperação, conservação e proteção ambiental de áreas de interesse e possui como principal destaque a atuação no desenvolvimento do Projeto Integral de Propriedades (PIP) para aplicação do Programa Nascentes nas Bacias PCJ. Ressalta-se aqui o projeto-piloto desenvolvido em Holambra, responsável pela recuperação de 16 hectares de vegetação nativa no entorno de nascentes e matas ciliares do município. O projeto envolveu,

além da Agência das Bacias PCJ e do Programa Nascentes, a Prefeitura Municipal da Estância Turística de Holambra, a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA), a Agência Nacional de Águas (ANA) – responsável pelo financiamento de obras de manejo e conservação do solo –, e a Fundação Banco do Brasil – que financiou intervenções de restauração ecológica.

O Programa II da Política de Mananciais dos Comitês PCJ abrange pagamentos por serviços ambientais (PSA – PCJ) para projetos destinados à proteção e recuperação de matas ciliares e nascentes, além da conservação de solos e fragmentos florestais. O programa contempla ações de execução de restauração ecológica e seu monitoramento a partir da destinação de recursos oriundos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos das Bacias PCJ. O programa também possui como objetivo a adequação ambiental de propriedades via restauração florestal de APP de nascentes.

Para a efetivação dos projetos, é elaborado um sistema de editais abertos às prefeituras dos municípios onde estão inseridas as propriedades rurais. Após a implementação das ações de restauração, são abertas possibilidades de novos editais para contemplar serviços ambientais via manutenção das áreas florestadas. Incorporar os resultados e dados deste estudo na definição das áreas a serem restauradas e previstas nesses editais pode ser um dos caminhos para implementação dos cenários que favoreçam a qualidade da água utilizada no abastecimento do município de Campinas. Um exemplo seria o Programa Florestas do Futuro, desenvolvido pela Fundação SOS Mata Atlântica, que faz a captação de áreas para promoção da restauração florestal em municípios de atuação da Agência das Bacias PCJ.

Em 2021, o Governo do Estado de São Paulo assumiu o compromisso de promover a restauração em 1,5 milhão de hectares até 2050 e, entre os esforços citados, está o Programa Nascentes, que possui atuação destacada no território de abrangência deste estudo. Através da Prateleira de Projetos, são firmadas parcerias com diversas entidades para a implementação de áreas de restauração. Dessa forma, garantir o envolvimento contínuo dos atores locais buscando somar e coordenar esforços no avanço da agenda ambiental é essencial no enfrentamento às crises climáticas e ambientais que o mundo atravessa.

Campinas e região também se encontram na área de atuação de iniciativas que buscam alavancar a restauração florestal no Brasil. Exemplos são o Pacto pela Restauração da Mata Atlântica, que possui o compromisso de restaurar 1 milhão de hectares de florestas até 2020 e 15 milhões até 2050, e o Plano Conservador da Mantiqueira, que apoia a criação de políticas públicas locais e promove condições necessárias para a restauração da paisagem florestal em cerca de 1,5 milhão de hectares na área de influência da Serra da Mantiqueira.

Os esforços de implementação dos cenários deste estudo estão alinhados àqueles apresentados no caso de infraestrutura natural para água no Sistema Cantareira (Ozment et al., 2018) e se unem aos interesses de apoiar ações que visam melhorar a água e auxiliar na segurança hídrica das grandes metrópoles.

ARRANJOS E FONTES DE RECURSO

Efetivar o investimento de recursos financeiros nos cenários propostos passa pelo desenvolvimento de mecanismos que permitam fluxos financeiros em escala e a ampliação de aportes em ações voltadas à restauração florestal para a gestão hídrica da região. A partir das informações levantadas no âmbito desta pesquisa (Apêndice A), foram identificadas as seguintes formas de viabilização dos investimentos necessários e potenciais fontes de financiamento:

- **Taxa de cobrança pelo uso da água:** a cobrança pelo uso da água permite aos Comitês de Bacias PCJ desenvolverem projetos de infraestrutura cinza, além de projetos de restauração florestal. Embasar projetos relacionados à temática de Infraestrutura Natural (ou verde) é um resultado

esperado deste estudo. Ao mesmo tempo, a Sanasa também aporta ao seu capital social recursos oriundos das cobranças pelo serviço de abastecimento da população de Campinas, seja em projetos de ampliação de ligações e redes de esgoto e até mesmo de engajamentos socioeducativos e ambiental, voltados às populações em situação de vulnerabilidade social.

- **Compensação ambiental:** é legalmente exigido que empresas que impactam o meio ambiente compensem-no através de restauração de ecossistemas em áreas definidas por leis estaduais. Conforme apresentado no cenário Restauração de Compensação de Reservatório (R800), esta pode ser uma alternativa com potencial de alavancar esforços para a implementação da restauração florestal com foco na gestão hídrica. Complementando, a Agência das Bacias PCJ possui dentre suas fontes de recursos, justamente a compensação ambiental proveniente do setor hidrelétrico, demonstrando a possibilidade de contar com essa fonte de recursos.
- **Investimento do setor de saneamento:** este estudo levantou uma oportunidade adicional para o financiamento de infraestrutura natural ao demonstrar que a Sanasa pode alcançar benefícios econômicos com a redução dos custos com produtos químicos no tratamento da água para o abastecimento de Campinas. Os aportes da Sanasa e o compartilhamento de experiências bem-sucedidas em infraestrutura natural podem alavancar e dar escala ao investimento por companhias e empresas de saneamento dos municípios da região.
- **Investidores de impacto:** é crescente a preocupação de investidores em infraestruturas de qualidade que apresentem maior resiliência às mudanças do clima e, portanto, menos vulneráveis a ociosidade ou sinistros climáticos. O mau dimensionamento da disponibilidade futura dos recursos hídricos implica sério risco de ociosidade de operações ou aumento do custo operacional, assim como eventos extremos afetam sobremaneira os custos emergenciais de controle e remediação, como os provocados por estiagens prolongadas ou chuvas torrenciais. Investidores de impacto se interessam por infraestruturas projetadas para lidar com essas contingências que, ao mesmo tempo, fornecem externalidades positivas, como "carbono neutro", proteção da biodiversidade etc. Tais investidores avaliam para além das taxas de retorno convencionais. Infraestrutura natural para água é o investimento certo para esse perfil de investidor de impacto e recursos capitaneados por Títulos Verdes (*Green Bonds*).
- **Compartilhamento de riscos ao longo do tempo:** a combinação de diferentes tipos de investidores em projetos de infraestrutura natural é um arranjo cada vez mais comum no mundo. Investidores de impacto associados a investidores públicos podem assumir maior risco imputado pelas etapas de implantação do projeto, compensando-os com retornos maiores ao longo da consolidação do provimento dos serviços ecossistêmicos, vez que infraestruturas naturais se apreciam durante a maturação do projeto enquanto as infraestruturas convencionais se depreciam. Assim, o prêmio de risco se compensa nas taxas de apreciação.
- **Pagamento por Serviços Ambientais:** atualmente no Brasil, há duas iniciativas de PSA com foco na gestão hídrica que são referências de atuação nesse segmento: Programa Reflorestar, do Governo do Estado do Espírito Santo, e Projeto Conservador das Águas, no município de Extrema (MG). O conhecimento gerado pelas experiências citadas embasa o incentivo às ações voltadas ao PSA na área de abrangência deste estudo. No município de Campinas, o programa de PSA é gerido pela SVDS, enquanto no âmbito regional, há o plano de PSA da Agência das Bacias PCJ, desenvolvido a partir de parcerias via editais com municípios. Ambos visam a adequação ambiental de propriedades em áreas de nascentes. Entende-se que o presente estudo possui potencial de expandir a atuação dos programas mencionados no território ao demonstrar os benefícios que tais ações podem trazer para a região de influência, especialmente se forem combinados os esforços entre as instituições responsáveis.

- **ICMS Ambiental paulista:** lançado em março de 2021, o novo ICMS Ambiental paulista foi responsável por promover mudanças diretas no repasse de recursos aos municípios, destinados ao meio ambiente. Hoje, 25% do total arrecadado com o ICMS é destinado aos municípios, e a mudança se insere na fração desse repasse direcionado a ações de meio ambiente, passando de 1% para 2%, em reajuste escalonado até 2024. A medida prevê que municípios menores recebam um valor maior de recursos para a preservação, conservação e recuperação de suas áreas verdes, o que pode ser benéfico para a implementação dos cenários deste estudo em municípios de menor porte na região de Campinas.

Como citado na seção anterior, a sobreposição de áreas prioritárias para restauração florestal, visando a gestão dos recursos hídricos, possui imenso potencial de alavancar a captação de recursos para sua implementação, uma vez que envolve o interesse de diversas organizações e gera benefícios para todas as partes envolvidas.

BOX 3 | COBENEFÍCIOS DA INFRAESTRUTURA NATURAL PARA ÁGUA

Este estudo se concentrou na análise dos benefícios do manejo de sedimentos obtidos a partir da restauração florestal para gestão hídrica, uma vez que a falta de manejo das terras, especialmente das pastagens degradadas, é a principal fonte de poluição por sedimentos. Outros tipos de manejo, como a conservação florestal, os sistemas agroflorestais, silvipastoris ou o próprio manejo de áreas naturais também podem contribuir para esse e outros objetivos. Sobre o aspecto do gerenciamento hídrico, principal foco deste estudo, a implementação de ações de restauração florestal promove impacto direto na proteção dos recursos hídricos disponíveis, em especial de mananciais e áreas de captação para abastecimento, promovendo melhorias sobre o aspecto da qualidade da água disponível, além de proporcionar a proteção de solos vulneráveis à erosão.

Ainda que não aprofundados e mensurados neste estudo, há potenciais cobenefícios da restauração florestal para gestão hídrica que podem contribuir para a adaptação às mudanças do clima e mitigação de seus efeitos, como produção de alimentos, geração de renda, recreação e lazer, sequestro de carbono, redução de riscos de desastres.

Um dos principais impactos está na preservação da fauna e da flora na paisagem, resguardando a biodiversidade local. Aliados a isso e além dos benefícios ambientais, a conservação dos solos e o aumento da cobertura vegetal podem promover impactos socioeconômicos, como a geração de emprego a partir da provisão de produtos florestais, o que fomenta uma economia local e circular. As florestas plantadas podem gerar renda ao produtor rural, recuperar o solo, além de fornecer produtos, como madeira de espécies nativas, frutos, óleos e sementes, e diminuir a pressão do desmatamento e da extração das florestas nativas destinadas à conservação e preservação.

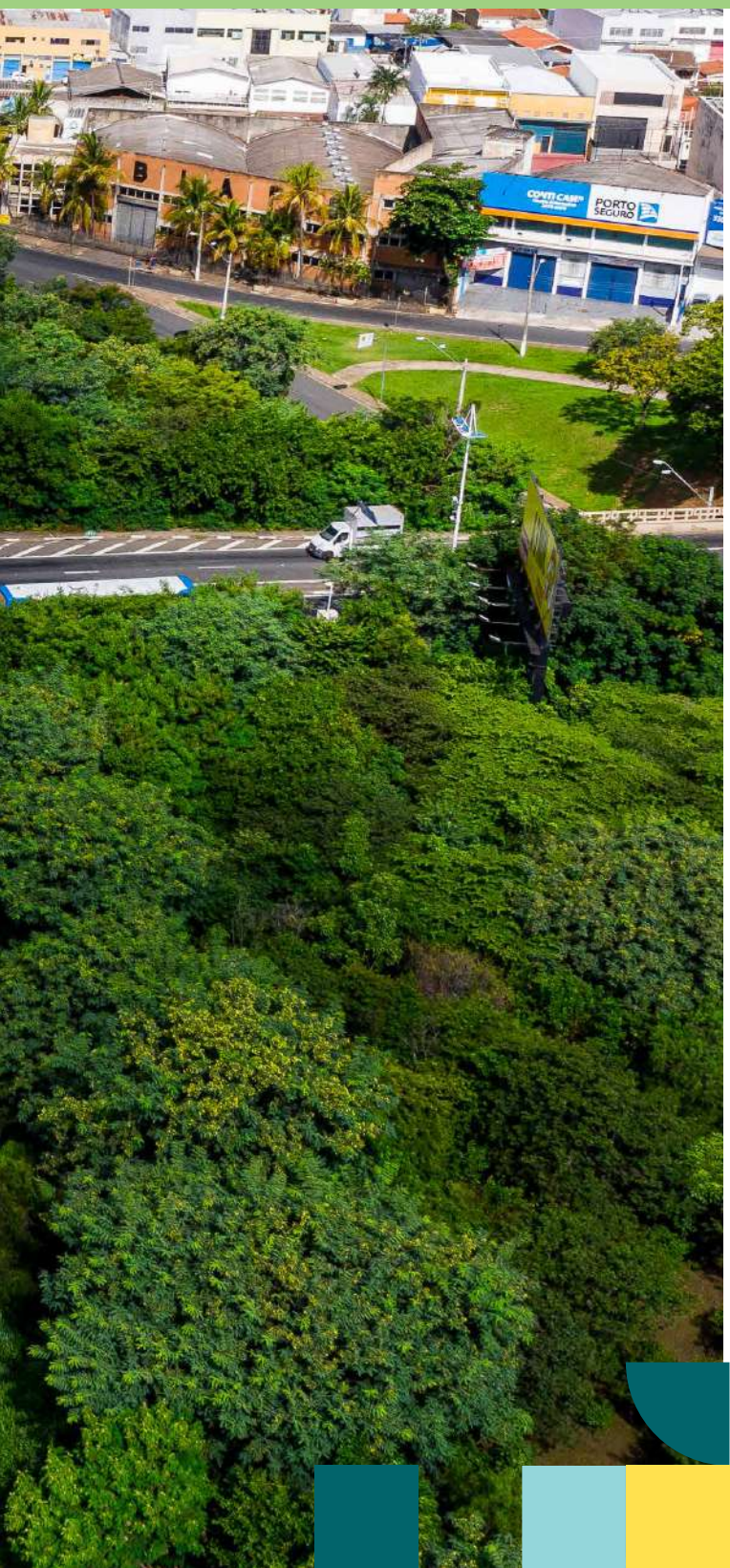
Promover a produção agropecuária sustentável, como, por exemplo, a difusão de práticas de sistemas agroflorestais (SAF), proporciona melhorias na qualidade e disponibilidade da água, reduzindo a adição de agrotóxicos e fertilizantes químicos no solo e, consequentemente, na água.

O restabelecimento da função ecológica de áreas degradadas, além de aumentar a produtividade da terra, pode favorecer a prevenção de incêndios e a remoção de carbono da atmosfera, o que impacta na melhora da qualidade do ar e ameniza as altas de temperatura.

Os possíveis tipos de manejo, bem como a sua localização são determinados a partir dos benefícios pretendidos e, ao serem mensurados, têm o potencial de aumentar a relação de custo-benefício dos investimentos alocados.

É importante relembrar ainda que os impactos econômicos positivos promovidos pelo investimento em infraestrutura natural para a gestão hídrica realizada pela Sanasa, conforme descrito nos cenários do Capítulo 2, pode trazer economia pelo menor uso de produtos químicos, gerando uma poupança passível de ser convertida em investimentos em mais infraestrutura natural ou outras estruturas de saneamento. Ressalta-se também que a infraestrutura natural permite que a água distribuída contenha menores concentrações de produtos químicos, o que beneficia diretamente a saúde da população.

CONCLUSÕES



Os dados e análises presentes neste estudo demonstram como a infraestrutura natural é uma importante abordagem na recuperação de mananciais e melhoria da qualidade da água para o município de Campinas e região, o que demanda uma estratégia conjunta de ações para sua implementação.

Este estudo apresenta a análise financeira para investimentos na natureza, que protegem e complementam o sistema de abastecimento de água de Campinas e região, inseridos nas bacias dos rios Atibaia e Capivari. Os esforços do estudo se concentram nas análises dos benefícios gerados a partir da infraestrutura natural (conservação e restauração da vegetação nativa) para a gestão hídrica.

Essas contribuições se somam às crescentes, e cada vez mais contundentes, evidências de que a infraestrutura natural pode ser uma poderosa ferramenta para a gestão de recursos hídricos. A proposição de valor da infraestrutura natural para a água é atrativa apenas pela avaliação de dois benefícios potenciais da restauração florestal: redução dos custos de tratamento e melhoria da turbidez da água. No futuro, os custos de controle de sedimentos e de tratamento da água, bem como a regulação do ritmo e dos fluxos hídricos em relação às mudanças climáticas, deverão ter um papel ainda mais proeminente na gestão de recursos hídricos.

Alguns dos elementos destacados neste relatório ajudam a alcançar esses objetivos:

- Promover embasamento técnico aos tomadores de decisão a respeito da gestão de recursos hídricos, de modo que se possa ressaltar a importância do papel da infraestrutura natural no atingimento das metas relativas à poluição por sedimentos e disponibilidade hídrica;
- Orientar o refinamento das estratégias de infraestrutura natural para entregar resultados com eficiência, priorização e escala;
- Enfatizar a permanente necessidade de pesquisa e coleta de dados locais;
- Fornecer uma nova matriz de referência para estimular o diálogo e as parcerias que conduzem a oportunidades ganha-ganha para o setor hídrico e os programas de infraestrutura natural; e
- Apoiar a mobilização de recursos financeiros e investidores para implementação dos cenários propostos em infraestrutura natural.

A aplicação da metodologia proposta e a análise dos resultados contaram com dados primários cedidos pela própria Sanasa sobre volume de água tratada e quantidade de produtos químicos utilizados no tratamento de água no município de Campinas e região, dando mais robustez às análises econômicas. Os resultados trazem perspectivas para mobilizar projetos de restauração ambiental ao reconhecer os benefícios da infraestrutura natural, especialmente em termos de custo evitado.

Embora a região exija esforços de restauração em grande escala, em função do nível de degradação da paisagem e da intensa demanda por recursos hídricos cada vez mais escassos, este estudo mostra que iniciativas focadas na retenção de sedimentos e melhoria da água trazem benefícios importantes e, também, são economicamente viáveis.

Os cenários mais amplos, de restauração de 800 e de 14 mil hectares, demandam a confluência de diferentes atores envolvidos como condição estratégica para sua implementação. Ao longo das análises, nota-se que a ampliação do conhecimento técnico-científico sobre a infraestrutura natural e, ainda, a maior aproximação entre atores e partes interessadas são essenciais para potencializar a escala de investimentos. A sobreposição de áreas apresentada neste estudo discorre sobre a possibilidade de unir esforços entre as iniciativas em curso no território, o que também amplia e dá maior escala aos investimentos.

Muitos projetos de restauração têm objetivos que não se relacionam com nenhuma valoração econômica, como aqueles destinados a abrigo de fauna, corredores ecológicos, lazer ou conforto térmico. Esses, geralmente, são considerados projetos com financiamento a fundo perdido por não retornarem benefícios monetizados. Este estudo fortalece a lógica de projetos de restauração como os mencionados e dá um importante passo adiante ao demonstrar que é possível identificar e reconhecer serviços de custo evitado proporcionado pela restauração, argumento importante a ser somado às justificativas ecológicas e sociais para incremento das infraestruturas naturais. Ademais, outros cenários de restauração, como, por exemplo, o cumprimento do Código Florestal, devem ser considerados para avaliar os ganhos econômicos e ambientais na gestão de recursos hídricos.

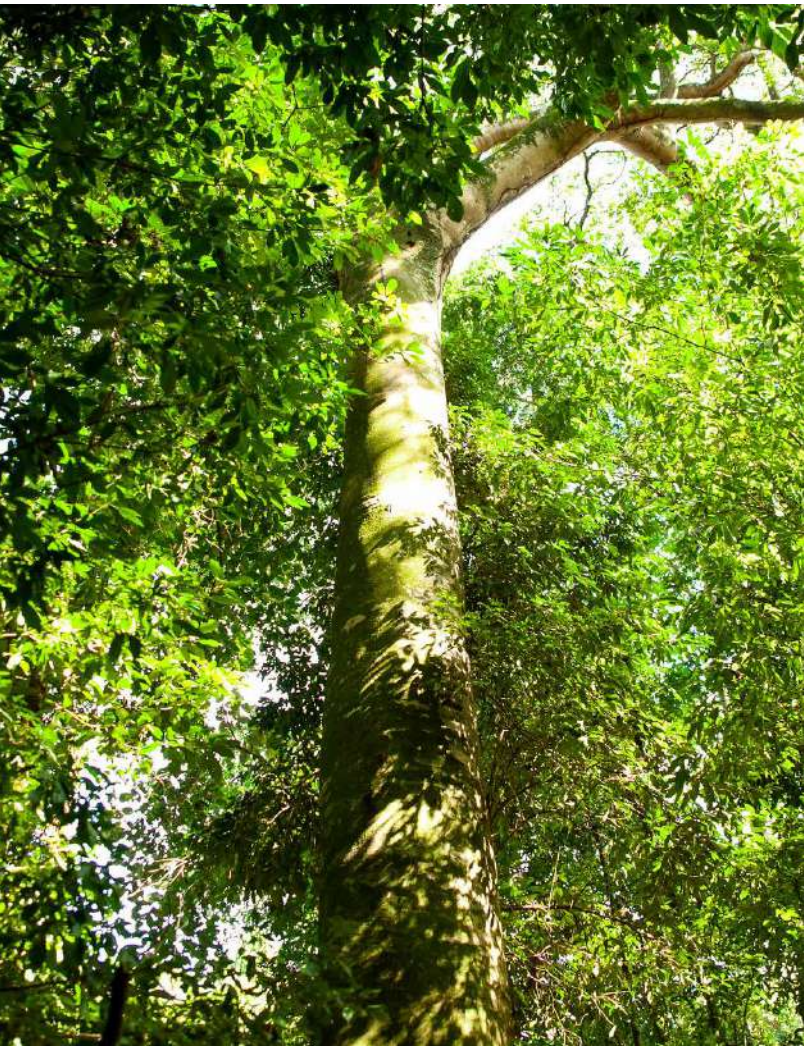
A incorporação dos cenários apresentados neste relatório não se limita apenas a ganhos em aspectos econômicos relativos a custos evitados com tratamento de água. Estudos posteriores poderão examinar cenários e benefícios adicionais de infraestrutura verde e cinza para fortalecer ainda mais o modelo de negócios.

Assim, as principais abordagens para alcançar benefícios a partir da infraestrutura natural são listadas a seguir.

- **Práticas expandidas de infraestrutura natural.** A infraestrutura natural pode assumir várias formas, como SAF, silvicultura ou mesmo boas práticas agrícolas (BPA) – pastagem aprimorada ou manejo sustentável de pastagem, terraceamentos em curvas de nível, bolsões de infiltração de água de chuva, adequação de estradas rurais com destinação hídrica, entre outros. Essas práticas expandidas devem ser selecionadas com base em sua relevância para produzir benefícios de infraestrutura natural, bem como em sua viabilidade e cumprimento das diretrizes para uso e ocupação do solo.
- **Infraestrutura natural para aumentar a disponibilidade de água em períodos de estiagem ou crises hídricas.** Embora relatórios científicos não sejam ainda suficientes para determinar se a restauração na Mata Atlântica pode aumentar a disponibilidade hídrica no curto prazo, os benefícios da infraestrutura natural em um planejamento de longo prazo já podem ser captados (Gartner et al., 2013) e utilizados para aferir a segurança hídrica de paisagens. Tal fato se mostra de fundamental importância, tendo em vista a preocupação com cenários semelhantes ao de uma nova crise hídrica no estado (Agritempo, 2021), conforme apontado anteriormente. O estudo sobre infraestrutura natural desenvolvido para o Sistema Cantareira, em 2018, apontou, por exemplo, que o aumento

de 8% da cobertura florestal acarretaria uma redução de 36% em exportação de sedimentos e traria à gestão da infraestrutura hídrica um retorno sobre o investimento de 28% em 30 anos (Ozment et al., 2018).

- **Aumento da produtividade agrícola e geração de renda.** As oportunidades de geração de renda e a lucratividade da restauração florestal poderiam ser mais bem estudadas, testadas, reportadas e incorporadas ao delineamento e avaliação do programa. Investimentos em infraestrutura natural podem ser projetados para aumentar a produtividade de pastagens e o lucro líquido do produtor rural por meio da integração lavoura-pecuária-floresta, incluindo também sistemas agroflorestais ou silvipastoris.



- **Promoção de políticas públicas que integrem agendas de infraestrutura natural e instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos.** A infraestrutura natural é um instrumento eficiente que atende, apenas nas ações de plantio e conservação da floresta, diversas demandas de planejamento e manejo da paisagem, como adequação e conformidade com o Código Florestal, o Zoneamento Econômico-Ecológico e o planejamento de bacias hidrográficas.
- **Engajamento de diferentes fontes de financiamento interessadas nos benefícios da temática abordada pelo estudo.** O desenvolvimento de uma narrativa transversal com enfoque na gestão de recursos hídricos, saneamento básico, conservação de mananciais e recuperação de áreas degradadas pode fornecer uma importante ferramenta de prospecção de parcerias, trazendo a possibilidade de engajar diferentes financiadores e, consequentemente, dar escala na implementação de ações relacionadas às agendas de infraestrutura verde, mudanças climáticas, mitigação e adaptação, além do fornecimento de serviços ecossistêmicos.

Além de embasar as decisões locais dos gestores de recursos hídricos, as análises apresentadas trazem os melhores dados e métodos disponíveis para facilitar a Análise de Investimento em Infraestrutura Natural (GGA/WRI) no Brasil e no mundo. Este estudo serve de base para uma análise aprofundada sobre o desempenho financeiro do uso da infraestrutura natural para a água. As informações e abordagens apresentadas podem ser aplicadas na RMC à medida que novos dados se tornem disponíveis ou possam ser usados para avaliar o papel da infraestrutura natural no atingimento de outros objetivos da gestão de recursos hídricos, podendo se tornar um caso de sucesso de investimento sobre a temática, a ponto de inspirar outros municípios e regiões metropolitanas brasileiras a replicarem as práticas.

NOTAS

1. INTERACT-Bio – O projeto INTERACT-Bio visa integrar a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos ao planejamento urbano, à gestão territorial e aos projetos de infraestrutura urbana. Implementado pelo ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, o projeto foi executado no Brasil, na Índia e na Tanzânia. O INTERACT-Bio é financiado pelo Ministério Federal Alemão do Meio Ambiente, Conservação da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) através da Iniciativa Internacional do Clima (IKI). No Brasil, o projeto é implementado nas regiões metropolitanas de Campinas, Belo Horizonte e Londrina. Para maiores informações: https://cbc.iclei.org/interact-bio-portuguese/

2. Cities4Forests – Cities4Forests é uma rede global de cidades que busca integrar as florestas internas, próximas e distantes aos planos diretores e programas de desenvolvimento municipais. Para maiores informações: https://wribrasil.org.br/pt/o-que-fazemos/projetos/cities4forests

3. Plano de Ação – O Plano de Ação para Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas apresenta um guia para ações articuladas entre os municípios que compõem a RMC, visando a promoção de iniciativas voltadas à conservação da biodiversidade, a manutenção de processos ecológicos, a oferta de serviços ecossistêmicos e a recuperação da paisagem. Disponível na íntegra no link: https://americadosul.iclei.org/documentos/plano-de-acao-para-implementacao-da-area-de-conectividade-da-rmc/

4. Reconecta RMC – Programa Reconecta RMC tem o objetivo de estabelecer a mútua cooperação entre os municípios que compõem a Região Metropolitana de Campinas para ações no âmbito de recuperação e conservação de fauna e flora, especialmente no que se refere à troca de conhecimento técnico e à realização de ações voltadas para esse fim. Disponível na íntegra pelo link: https://novo.campinas.sp.gov.br/secretaria/verde-meio-ambiente-e-desenvolvimento-sustentavel/pagina/reconecta-rmc

5. UNT – A unidade de monitoramento da turbidez da água é expressa em unidades nefelométricas de turbidez (UNT). Mais detalhes, ver Apêndice B.

6. Reservação – Termo técnico utilizado pelas companhias de abastecimento para se referir à água disponível em reservatórios.

APÊNDICES

APÊNDICE A. MÉTODO DE CONSULTA ÀS PARTES INTERESSADAS E DESENVOLVIMENTO DE PREMISSAS E PORTFÓLIOS DE INVESTIMENTO (PASSOS 1 E 2 DA GGA/WRI)

Este apêndice explica o método e as fontes de dados da primeira etapa desenvolvida na metodologia GGA/WRI, apresentada no Capítulo 2. Desde 2017, o ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade é responsável pelo desenvolvimento do projeto INTERACT-Bio, elaborado para melhorar a utilização e a gestão dos recursos naturais na RMC. O interesse para o desenvolvimento do presente estudo surgiu do contato da Sanasa com o WRI Brasil, em janeiro de 2019, tendo inicialmente atenção voltada à análise de infraestrutura natural para água como estratégia complementar de garantia de qualidade e quantidade no abastecimento. A partir disso, uma série de ações convergentes, como a adesão do município de Campinas à iniciativa Cities4Forests, permitiu o avanço das discussões e houve eventos e reuniões on-line sobre o tema de infraestrutura natural para água, com diversos atores do território (prefeituras, universidades, Ministério Público de São Paulo etc.).

Uma análise do mapeamento de atores e partes interessadas foi conduzida, ao longo de 2020, para identificar as relações institucionais dentro da área de abrangência e os principais investimentos anunciados e implementados nos municípios pertencentes a essa área.

O primeiro passo foi a listagem das principais instituições, dos setores público e privado, da sociedade civil, além de associações e grupos de interesse para a área de abrangência definida para o estudo. Os principais atores identificados para desenvolvimento de uma estratégia de infraestrutura natural para a região foram: Agemcamp (Agência Metropolitana de Campinas), Fundocamp (Fundo de Desenvolvimento da Região Metropolitana de Campinas), Comitês PCJ; Sanasa, Iniciativa Verde, Programa Nascentes e Plano Conservador da Mantiqueira.

A segunda etapa contou com uma análise de projetos anunciados, em execução e compromissados, disponíveis para contratação ou até mesmo investimentos cancelados. O mapeamento compreendeu as principais áreas de atuação, com investimentos nas seguintes temáticas: restauração florestal, captação, distribuição e abastecimento de água, além de saneamento básico.

As ações e projetos identificados foram organizados em uma matriz de municípios e projetos, que consideram a área definida para a restauração, incluindo as informações sobre leis e/ou deliberações relacionadas às ações e o valor estimado do investimento, com objetivo de compreender a natureza dos investimentos e o que vem sendo aplicado em Campinas e região. A partir desse diagnóstico, foram fornecidos insumos para a contextualização do território.

Dentre os dados coletados, sobre a temática de restauração florestal, destacam-se os projetos do Programa Nascentes, desenvolvido pelo Governo do Estado de São Paulo com o intuito de promover a restauração ecológica em áreas prioritárias, visando a proteção e conservação de recursos hídricos e da biodiversidade. O programa conta com grande número de projetos, já compromissados e disponíveis para contratação, e com apoio de parceiros que trabalham na elaboração e no desenvolvimento desses projetos.

A Sanasa é responsável por ações que vão desde obras de infraestrutura – como a instalação de redes e ligações de esgoto em territórios vulneráveis sob o aspecto socioeconômico, com projetos vinculados ao financiamento de obras – a programas de sensibilização voltados à garantia do acesso à água potável – como o Programa de Ação Sustentável (PAS).

Entretanto, neste trabalho, a principal fonte de recursos e de iniciativas relacionadas aos temas é vinculada aos Comitês PCJ, responsáveis pelo financiamento de projetos e estabelecimento dos indicadores para contratação, que vão desde *royalties* e compensações até a participação de fundos, como o Fehidro (Fundo Estadual de Recursos Hídricos), ligado à Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente do Estado de São Paulo, além de recursos da cobrança do PCJ Paulista e do PCJ Federal. No âmbito deste estudo, foram analisadas deliberações dos Comitês PCJ entre 2011 e 2019.

Em sua totalidade, o mapa de iniciativas identificou 281 projetos em todas as Bacias PCJ, contemplando os municípios presentes na área das cinco sub-bacias hidrográficas que abastecem a RMC: Jaguari, Atibaia, Ribeirão Quilombo, Capivari e Capivari-Mirim. Dos 72 municípios, somente em 17 não foram encontrados projetos ou atividades durante a pesquisa realizada, dentro do período estipulado de 10 anos (de 2011 a 2019).

A partir dos levantamentos de iniciativas, fontes de recursos e mecanismos presentes em Campinas e região, foram realizadas consultas que buscaram garantir o envolvimento das partes interessadas na definição dos parâmetros das análises deste estudo e, também, no delineamento das estratégias para implementação das oportunidades de restauração vinculadas à agenda de infraestrutura natural para água. Tais consultas se deram entre janeiro de 2020 e abril de 2021, em eventos e reuniões on-line devido à pandemia do Covid-19.

APÊNDICE B. MÉTODOS E PREMISSAS PARA MODELOS BIOFÍSICOS E COMPONENTES DO MAPEAMENTO (PASSO 3 DA GGA/WRI)

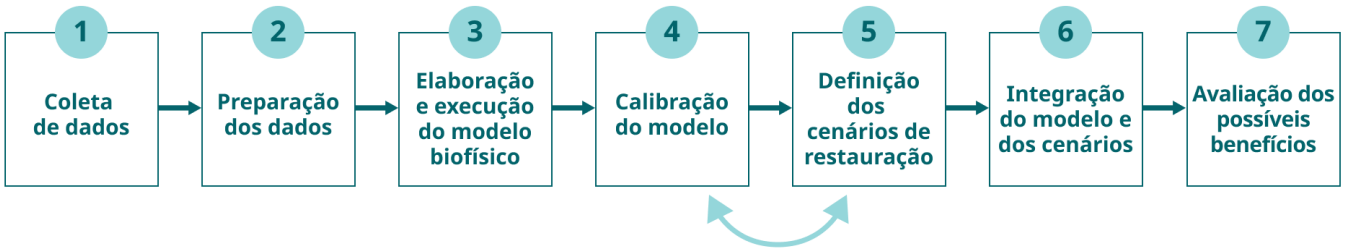
Fluxograma geral para a execução de modelos biofísicos

A GGA/WRI considera várias etapas para estimar o impacto potencial na qualidade da água. O fluxograma geral na Figura B1 mostra as etapas necessárias para essa análise.

Etapa 1 – Coleta de dados
Coleta de dados de entrada necessários para executar o modelo biofísico, sendo eles: Uso do Solo/Cobertura do Solo (*Land Use/Land Cover* – LULC), precipitação, mapa do solo e elevação (Missão Topográfica do Radar *Shuttle* – SRTM).

Etapa 2 – Preparação dos dados
Ao preparar os dados de entrada, é necessário ajustá-los ao mesmo tamanho de imagem e projetá-los para o mesmo sistema de coordenadas. Os atributos da camada vetorial e os parâmetros da tabela biofísica devem ser padronizados.

Figura B1 | Fluxograma geral da análise de cenários de restauração para a Avaliação da Infraestrutura Verde e Cinza Atibaia-Capivari



Fonte: Elaborado pelos autores.

Etapa 3 – Elaboração e execução do modelo biofísico
Execução da Taxa de Transferência de Sedimentos (*Sediment Delivery Ratio* – SDR) usando os dados preparados e organizados na etapa anterior, com parâmetros padrão.

Etapa 4 – Calibração do modelo
A calibração é etapa necessária para ajustar o resultado gerado pelo modelo biofísico aos dados reais observados.

Etapa 5 – Definição dos cenários de restauração
A definição da meta de restauração tem como base o gráfico de sedimentos exportados *versus* a área disponível a ser restaurada.

Etapa 6 – Integração do modelo e dos cenários
A camada LULC atual é substituída pelo cenário de restauração LULC a fim de estimar a possível redução de sedimentos, caso a região seja restaurada.

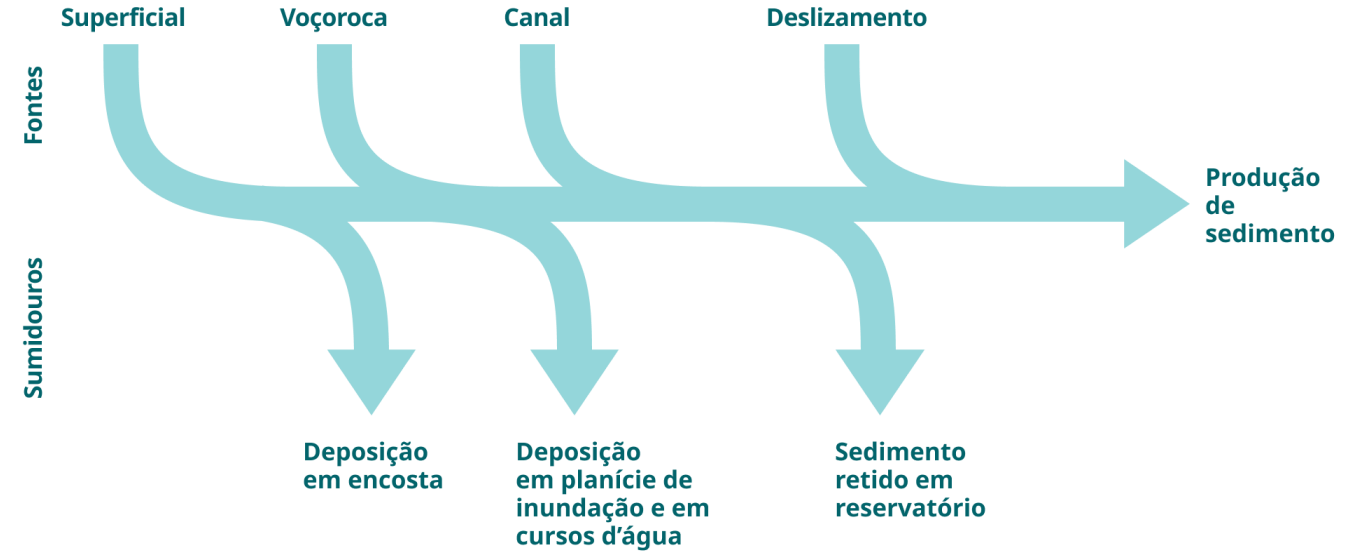
Etapa 7 – Avaliação dos possíveis benefícios
O cenário de restauração é comparado ao LULC atual a fim de estimar a possível redução na exportação de sedimentos.

Modelagem de sedimentos

Para identificar os hectares a serem restaurados com maior potencial para redução de sedimentos e estimar os impactos gerais dessa redução com a infraestrutura natural, utilizou-se a SDR, considerando o modelo 3.9.0 do *Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs* (InVEST), desenvolvido pelo *Natural Capital Project* (Sharp et al., 2020). Esse modelo gera um resultado espacialmente explícito que quantifica o potencial de exportação de sedimentos na região. Destarte, foram criados vários cenários espaciais de coberturas do solo de linha de base e futuras e também foram modelados os impactos no rendimento e na retenção de sedimentos desses cenários.

A função SDR estima a quantidade de sedimentos terrestres transferida aos cursos d'água (Figura B2). Existem várias fontes potenciais de geração de sedimentos, no entanto, a ferramenta SDR estima apenas a fonte terrestre.

Figura B2 | Esquematização da função SDR



Fonte: Sharp et al. (2020).

A SDR é baseada na Equação Universal de Perda de Solo (*Universal Soil Loss Equation* – USLE), proposta inicialmente por Wischemeier e Mannering (1969). O modelo estima a perda de solo de acordo com atributos biofísicos da região avaliada, incluindo: padrão de precipitação, tipo de solo, topografia, sistema de cultivo e práticas de manejo da terra. A equação é dada pelas seguintes fórmulas (Stone e Hilborn, 2012):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Onde:

- **A** é a estimativa total da perda de solo por hectare por ano.
- **R** é o índice de erosividade das chuvas, baseado nas chuvas mensais e no fator de escoamento; o potencial de erosão aumenta de acordo com a maior intensidade e a duração das tempestades.
- **K** representa o índice de erodibilidade do solo, ou seja, o potencial das partículas do solo de se desprenderem e serem transportadas por chuva e escoamento. Esse fator está diretamente associado à textura do solo, embora a estrutura, a matéria e a permeabilidade do solo também possam influenciar.
- **LS** é o fator de comprimento e declividade da área; terrenos íngremes e longos tendem a aumentar o risco de erosão.

- **C** é o fator de cobertura de culturas/vegetação; aponta a eficácia relativa dos sistemas de manejo do solo/culturas em evitar a erosão.
- **P** representa o fator de práticas favoráveis ao gerenciamento do solo, se houver algum tipo de prática que reduza a quantidade e a taxa de escoamento da água e, consequentemente, a erosão.

A maioria dos fatores biofísicos não pode ser controlada, incluindo padrão de precipitação, tipo de solo e relevo. As classes de uso e cobertura do solo são os fatores que podem ser alterados a partir da substituição do tipo de cobertura do solo (fator **C**) ou da prática de gerenciamento do solo (fator **P**). Assim, os cenários de mudança da cobertura terrestre de pastagens para floresta são avaliados em termos da estimativa de perda de solo com base na diferença entre o LULC atual e o seu cenário potencial de restauração. A Tabela B1 apresenta detalhes sobre a cobertura do solo na área abrangida pela bacia do rio Atibaia e no restante da RMC. Já a Tabela B2 apresenta mais especificamente as estimativas de área de pastagens, de acordo com o grau de degradação.

Tabela B1 | Padrão de cobertura do solo na área da bacia do rio Atibaia e no restante da RMC

CLASSES DE USO E COBERTURA DO SOLO	ÁREA NA BACIA DO RIO ATIBAIA (HA)	ÁREA NA RMC (HA)	ÁREA TOTAL (HA)
Afloramento rochoso	163,98	503,64	667,62
Massa d'água	3.626,10	4.149,81	7.775,91
Área úmida	80,82	523,17	603,99
Área edificada	29.965,23	73.115,82	103.081,05
Cultivo agrícola – Café	453,96	212,76	666,72
Campo natural	12.461,67	20.493,63	32.955,30
Cultivo agrícola – Cana-de-açúcar	395,91	47.980,44	48.376,35
Cultivo agrícola – Banana	441,72	11.954,52	12.396,24
Cultivo agrícola – Outros cultivos temporários	2.490,84	4.548,33	7.039,17
Mata nativa	76.047,21	35.748,81	111.796,02
Extração mineral	43,47	401,58	445,05
Outros	7.155,90	6.846,03	14.001,93
Pastagem	69.135,93	73.467,90	142.603,83
Reflorestamento	19.284,39	6.650,82	25.935,21
Solo exposto	5.520,24	28.842,12	34.362,36
TOTAL	**227.267,37**	**315.439,38**	**542.706,75**

Fonte: Agência das Bacias PCJ (2018).

Tabela B2 | Grau de degradação das pastagens no padrão de cobertura do solo em cada região da bacia Atibaia-Capivari

GRAU DE DEGRADAÇÃO DAS PASTAGENS	ÁREA (HA)
Não degradada	44.518
Leve	16.234
Moderado	9.100
Alto	4.936
TOTAL	**74.788**

Fonte: Lapig (2021).

Entradas do modelo (dados e premissas)

As fontes de dados para o modelo de sedimentos estão descritas na Tabela B3, enquanto a Tabela B4 apresenta o fator de manejo da cultura/vegetação da USLE para cada uma das classes de uso do solo/cobertura do solo mapeadas na região. Os valores do fator **C** foram atribuídos de acordo com Wischmeier e Mannering (1969). Assim, o processo de atribuição de diferentes classes de uso do solo/cobertura do solo combinou os seguintes critérios:

1. Tipo de vegetação predominante (ervas, arbustos ou árvores);

2. Estimativa da porcentagem de cobertura do solo (25%, 50% e 75%);

3. Tipo de planta dominante no sub-bosque (grama ou daninha); e

4. Quantidade de solo exposto (sem cobertura do sub-bosque) (20%, 40%, 60%, 80%, 90% ou mais).

Esses parâmetros foram avaliados para cada classe de LULC considerando suas características. O fator **C** foi atribuído a partir de uma combinação dos parâmetros.

Tabela B3 | Resumo de entrada de dados, descrição necessária para executar o modelo de sedimentos e fonte de pesquisa

ENTRADA	DESCRIÇÃO	FONTE
Índice de erosividade das chuvas (R)	Conjunto de dados raster do SIG, com um valor de índice de erosividade para cada célula com resolução espacial de 1 km. Essa variável depende da intensidade e da duração das chuvas na área de estudo.	Fick e Hijmans (2017)
Índice de erodibilidade do solo (K)	Valor de erodibilidade do solo de acordo com os diferentes tipos de solo. Essa medida corresponde à suscetibilidade das partículas do solo ao desprendimento e subsequente transporte pela chuva e escoamento. Os dados originais estão em formato vetorial e foram convertidos para o formato raster, ajustados para uma resolução espacial de 30 m.	Oliveira et al. (1999)
Modelo de Elevação Digital (DEM)	Conjunto de dados raster do SIG, com um valor de elevação para cada célula com resolução espacial de 30 m. A camada raster final foi gerada usando o processo de interpolação da linha de contorno mapeada para a região de abrangência.	Agência das Bacias PCJ (2018)
Uso do Solo/ Cobertura do Solo (LULC)	Conjunto de dados raster do SIG, com um código LULC inteiro para cada célula. Os dados originais estão em formato vetorial e foram convertidos e reamostrados para uma resolução espacial de 30 m.	Baseado em fotointerpretação de ortofotos de 2012 (Agência das Bacias PCJ, 2018)
Tabela biofísica	Tabela (.csv) contendo informações de modelo correspondentes a cada uma das classes de uso do solo. Inclui um fator de gerenciamento de cobertura do solo (C) e um fator de práticas favoráveis (P).	Adaptado de Wischmeier e Mannering (1969); ver Tabela B4 a seguir

Fonte: Elaborado pelos autores.

Tabela B4 | Dados biofísicos de entrada para os fatores C e P exigidos pela USLE

USO DO SOLO/COBERTURA DO SOLO	CÓDIGO	FATOR C	FATOR P
Mata nativa	10	0,009	1
Área úmida	3	0,003	1
Campo natural	6	0,082	1
Cultivo agrícola – Café	5	0,21	1
Outros	12	0,1384	1
Afloramento rochoso	1	0,0001	1
Pastagem	13	0,042	1
Massa d'água	2	0,0001	1
Cultivo agrícola – Outros cultivos temporários	9	0,2	1
Extração mineral	11	0,45	1
Cultivo agrícola – Outros cultivos permanentes	140	0,21	1
Cultivo agrícola – Cana-de-açúcar	7	0,1	1
Área edificada	4	0,0001	1
Reflorestamento	14	0,17	1
Cultivo agrícola – Banana	8	0,17	1
Solo exposto	15	0,45	1

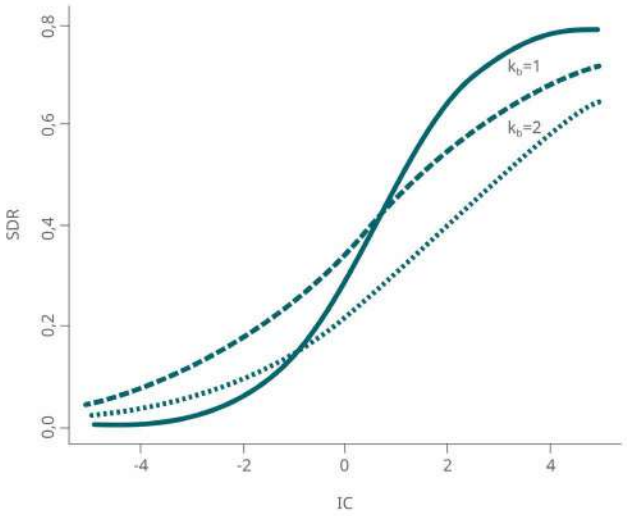
Fonte: Elaborado pelos autores, adaptado de Wischmeier e Mannering (1969).
Nota: O fator C corresponde ao tipo de uso do solo/cobertura do solo e o fator P ao tipo de manejo do solo para evitar a geração de sedimentos.

Calibração do modelo

Como a USLE é uma equação geral aplicada globalmente, alguns fatores locais podem ser ajustados a partir de novas observações. Assim, o resultado será mais próximo dos dados reais observados. Em vários casos, o parâmetro monitorado é a turbidez da água expressa em UNT (unidades nefelométricas de turbidez). UNT é basicamente a propriedade óptica da água referente à absorção e à reflexão da luz; um valor mais alto para a turbidez representa maior dispersão da luz devido à presença de sedimentos ou outros elementos. Como o resultado do modelo biofísico é expresso em toneladas de sedimentos por ano, é necessário converter a UNT em valores de sedimentos em suspensão (para mais detalhes sobre essa conversão, consulte o item *Custos de tratamento de água devido ao nível de turbidez,* na seção *Custos evitados no tratamento de água,* no Apêndice C.

A função SDR permite ao usuário calibrar quatro variáveis (Figura B3) (Sharp et al., 2020).

Figura B3 | Variáveis passíveis de ajuste no modelo SDR



Fonte: Sharp et al. (2020).
Nota: O SDR é a taxa de transferência de sedimentos, enquanto o IC é o índice de conectividade. As curvas representam a relação entre o SDR e o IC quando diferentes valores são aplicados.

Assim, as seguintes variáveis estão disponíveis para calibração no modelo SDR (Sharp et al., 2020):

- SDR máxima: proporção máxima de SDR que um pixel pode atingir; fração de partículas do solo superficial mais finas que a areia grossa (< 1 mm);
- Parâmetros IC_0 e k_b: definem a relação entre o índice de conectividade e a taxa de transferência de sedimentos (SDR) (Figura B3); e
- Limiar de acumulação de fluxo (*threshold flow accumulation* – TFA): cria a rede de fluxo potencial na região de estudo. O valor da configuração varia de acordo com a região; o resultado precisa ser comparado à rede de fluxo real. Valores maiores tendem a mapear uma rede de fluxo com menos afluentes, enquanto valores pequenos correspondem a uma rede com mais afluentes.

Os processos de calibração comparam o valor de UNT convertido em sedimentos exportados e os dados de saída do modelo biofísico, gerando as seguintes saídas (Sharp et al., 2020):

- USLE: perda potencial de solo na região (toneladas/pixel);
- Exportação de sedimentos: total de sedimentos exportados de cada pixel que atinge o curso d'água (toneladas/pixel); e
- Índice de retenção de sedimentos: referência que verifica se todos os tipos de LULC são convertidos em solo exposto. A quantidade de sedimentos deve ser interpretada como um valor relativo (toneladas/pixel).

Após testes iniciais usando os dados de entrada, a exportação estimada de sedimentos continuou a ser maior do que a esperada. As seguintes etapas adicionais foram aplicadas neste estudo:

- Reagrupamento do mapa original de uso do solo/cobertura do solo em um pequeno grupo de classes com base em condições similares de uso do solo/cobertura do solo;
- Atribuição de valores ao fator C (uso do solo/cobertura do solo) do modelo USLE de acordo com as entradas na Tabela B2; e
- Execução do modelo SDR testando parâmetros diferentes.

A escassez de dados de campo é uma questão frequente na avaliação da quantidade de sedimentos transportados para os cursos d'água em determinadas regiões. Este não foi o caso neste estudo. A disponibilização de dados coletados em campo pela Sanasa em seus pontos de captação, sobretudo no do rio Atibaia, permitiu que os parâmetros de calibração do InVEST fossem devidamente ajustados, tomando como referência os dados observados na realidade. Os parâmetros utilizados foram TFA = 50; k_0 = 0,51; IC_0 = 1,17 e $SDR_{máx}$ = 0,8 para o ponto de captação do rio Atibaia, em base aos valores de referência determinados com o valor de UNT.

Cenários espaciais de cobertura do solo utilizados para definir portfólios de investimento

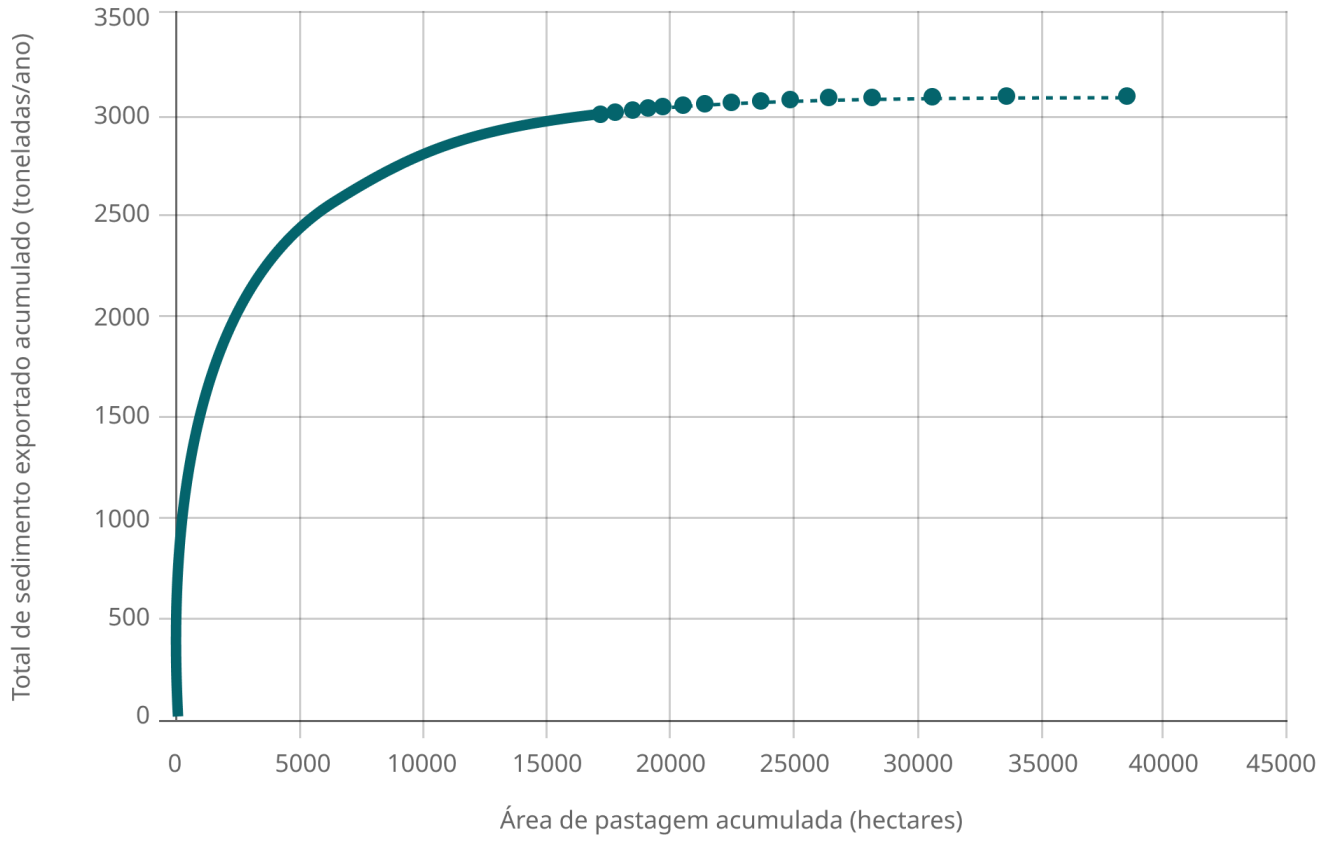
Presume-se que a restauração florestal seria implementada predominantemente em pastagens. Assim, a camada de saída de exportação de sedimentos atual foi filtrada para

a classe de pastagens. A tabela de atributos dessa camada contém, para cada linha, a quantidade estimada de sedimentos exportados e o número de pixels para esse valor.

Em seguida, essa tabela foi organizada contendo valores altos de exportação de sedimentos. Dois campos são adicionados à tabela, que calcularão os valores acumulados de sedimentos exportados e sua respectiva área. O resultado dessa etapa é o gráfico mostrado na Figura B4; o eixo y é a quantidade acumulada de sedimentos exportados, enquanto o eixo x é a área acumulada de pastagem. O gráfico permite, por exemplo, a identificação do ponto ótimo com base no gráfico do rendimento de sedimentos na região. Esse ponto maximiza a redução de sedimentos no menor número possível de hectares.

Os objetivos da restauração foram estabelecidos tomando como referência esses resultados, mas também considerando as oportunidades existentes, seja nas compensações de construções de barragens, seja no total de pastagens severamente degradadas na região.

Figura B4 | Exportação cumulativa de sedimentos na bacia do rio Atibaia



Fonte: Elaborado pelos autores.
Nota: o gráfico mostra uma potencial exportação cumulativa de sedimentos por área cumulativa de pastagens na bacia analisada, com cada ponto representando o total de pastagens acumuladas (x ax) e a estimativa total de sedimentos exportados (y ax). Ordenou-se cada hectare com base em seu potencial de contribuição para reduzir a produção de sedimentos. O primeiro ponto representado (no canto inferior esquerdo do gráfico) possui a maior retenção de sedimentos (cerca de 2,5 t/ano), enquanto o último ponto representado no gráfico tem o menor potencial de retenção de sedimentos.

Modelagem espacial para aplicação da GGA/WRI

A curva de otimização permite identificar a área mínima a ser restaurada para maximizar a retenção de sedimentos (Figura B4). Essa curva combina a estimativa de exportação de sedimentos com as áreas elegíveis para restauração (neste caso, apenas pastagens).

Utilizou-se a ferramenta LegalGeo (Oakleaf et al., 2017) para selecionar as possíveis áreas de restauração em cada cenário. A ferramenta seleciona as áreas elegíveis (pixels) com valor mais alto de exportação de sedimentos até que a área que contempla o objetivo da restauração seja atingida em cada cenário.

Os resultados do InVEST foram traduzidos em valores anuais de sedimentos evitados, usando o método e as premissas detalhadas por Ozment et al. (2018). Como o cronograma de restauração ocorre em três anos e fornece custos e benefícios para um período de 20 anos, o controle da erosão total é uma função da área restaurada, da idade da restauração e da porcentagem do controle da erosão em cada ano.

Incerteza

As fontes de incerteza podem ser associadas a vários fatores, como dados de entrada, falta de dados reais e calibração e limitações do modelo. Na região estudada, o monitoramento do rendimento de sedimentos é escasso, o que pode afetar a calibração. Ozment et al. (2018) realizaram uma análise parecida em uma área próxima à cidade de São Paulo, apresentando fontes de incerteza que podem afetar nossos principais resultados e a diferença relativa entre os cenários.

A revisão de literatura é uma importante fonte primária de informação. Embora algumas referências úteis tenham sido encontradas, a escassez de dados ainda é uma limitação para obter resultados mais consistentes e robustos. A escala de dados é outra fonte de incerteza. A maioria dos dados foi desenvolvida em escala regional (solo, clima), o que pode resultar em uma representação imprecisa das condições locais. Assim, a análise foi realizada a partir de dados disponíveis, embora, em alguns casos, dados mais detalhados pudessem produzir melhores resultados, com um nível mais alto de confiança.

APÊNDICE C. MÉTODOS E PREMISSAS DA ANÁLISE FINANCEIRA (PASSOS 4, 5 E 6 DA GGA/WRI)

Este apêndice baseia-se no estudo apresentado por Ozment et al. (2018) e visa destacar métodos específicos aplicados localmente para estimar custos e benefícios na análise de retorno sobre o investimento na bacia do rio Atibaia, bem como premissas e fontes de dados subjacentes, a partir de consultas locais.

PREMISSAS GERAIS DOS MODELOS

Abastecimento e demanda de água

De acordo com a Sanasa, a produção de água das quatro ETAs com captação no rio Atibaia é de 2,9 m^3/s. Espera-se que essa demanda cresça cerca de 0,52% ao ano. Essa tendência foi extrapolada ao longo do horizonte de 40 anos.

Tabela C1 | Demanda estimada de água baseando-se no PCJ e SNIS

ANO	CAMPINAS (M^3/S)	CAMPINAS E REGIÃO (M^3/S)
0	2,91	6,80
10	3,08	7,16
20	3,23	7,54
30	3,49	7,94
40	3,75	8,37
50	4,03	8,81

Fonte: Elaborado pelos autores.

Horizonte

O prazo de 50 anos para projetos financeiros no setor hídrico reflete a vida útil média ponderada de estruturas e equipamentos mais importantes para o tratamento de água, segundo o nível de depreciação da Sanasa.

Taxa de desconto

Com base na estimativa do custo médio ponderado de capital (WACC) do BTG Pactual (8,6%) para o setor de água e esgoto no Brasil (Junqueira, Pimentel e Castro, 2017), assumiu-se uma taxa de desconto referencial de 5%. Na análise de sensibilidade (descrita adiante), a taxa de desconto variou de 5% a 12%. Esses valores foram determinados com base no prêmio de risco brasileiro em projetos financeiros (Assaf Neto, 2010). O Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) recomenda uma taxa de desconto de 12% para projetos públicos de infraestrutura hídrica na América Latina (Fontanele e Vasconcelos, 2012).

Estimativa de custos

Custos de investimento: todos os investimentos necessários para implantar a restauração.

Custos de operação e manutenção: todas as despesas necessárias para promover a restauração ao longo do tempo e minimizar a mortalidade de mudas ou de falhas ecológicas.

Custos de transação: despesas incorridas para envolver proprietários de terras nos projetos de restauração, projetar e monitorar o programa e administrar contratos e pagamentos. Assumiu-se que esses custos correspondem a 2% dos custos combinados de investimento.

Custos de oportunidade: neste estudo, assumiu-se um custo de oportunidade equivalente ao projeto de Pagamento por Serviços Ecossistêmicos médio para a Mata Atlântica.

Estimativa de benefícios

Esta análise se concentra apenas na avaliação dos custos evitados de gerenciamento de sedimentos. Conforme descrito no relatório principal, foram avaliados três custos de gerenciamento de água: (a) custos de tratamento de água, (b) custos de reposição de materiais filtrantes e (c) depreciação e desgaste de equipamentos relacionados ao tratamento de turbidez e filtragem de sedimentos.

Custos evitados no tratamento de água

Usando modelos de regressão baseados nos dados primários de volume tratado e quantidade de produtos químicos utilizados (PAC, hidróxido de cálcio, cal hidratada e cal virgem), foram estimados os custos dos produtos químicos utilizados e, então, as curvas de: conversão de sedimentos para sólidos suspensos, conversão de sólidos suspensos para turbidez e, finalmente, de custos de tratamento por metro cúbico em função da turbidez.

Conversão de sedimentos em sólidos em suspensão: equações elaboradas por Carvalho (2008).

$$ss = s / 10,4 * 0,0864$$

Onde **SS** corresponde a sólidos em suspensão (mg/L), **S** são sedimentos exportados (t/dia), 10,4 é o fluxo médio de água (m^3/s) no rio Atibaia no ponto de captação (Agência das Bacias PCJ, 2020) e 0,0864 é a constante de conversão (Carvalho, 2008).

Conversão de sedimentos em suspensão em turbidez: equação baseada segundo os dados primários cedidos pela Sanasa.

$$T = 0,036178 * ss^{1,325856}$$

Onde **T** é o nível de turbidez (UNT) e **SS**, sólidos em suspensão.

Custos de tratamento de água devido ao nível de turbidez: equação elaborada segundo os dados primários cedidos pela Sanasa e monetizados por consulta a pregões e licitações públicas na compra de PAC, hidróxido de cálcio, cal hidratada e cal virgem, nas proporções utilizadas pela Sanasa.

$$C = 0,059325 * t^{0,207735}$$

Onde **C** é custo ($R\$/m^3$) e **t**, nível de turbidez (UNT).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2018. *Plano Diretor para Recomposição Florestal das Bacias PCJ.* Disponível em: < https://agencia.baciaspcj.org.br/assessoria-ambiental/plano-diretor-florestal/ >.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2019. *O Plano das bacias PCJ 2020 a 2035. Relatório Final. Piracicaba: PCJ*. Disponível em https://plano.agencia.baciaspcj.org.br/o-plano/documentos.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2020. *Plano de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí 2020-2035.* Disponível em: https://plano.agencia.baciaspcj.org.br/o-plano.

AGRITEMPO. *Sistema de Monitoramento Agrometeorológico.* 2021. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/agritempo/index.jsp>.

ASSAF NETO, A. *Finanças corporativas e Valor.* São Paulo, 2010.

ANTONIAZZI, L., P. SARTORELLI, K. COSTA, e I. BASSO. *Restauração florestal em cadeias agropecuárias para adequação ao Código Florestal.* São Paulo: Input, e Agroícone, 2016.

BATISTA ET AL. (2019) BATISTA, A., PRADO, A., PONTES, C., MATSUMOTO, M,. 2017. *VERENA Investment Tool: Valuing Reforestation with Native Tree Species and Agroforestry Systems*. Technical Note. São Paulo, Brasil: WRI Brasil. Disponível em: www.wri.org/publication/verenainvestment-tool.

BENINI, R.; ADEODATO, S. Economia da Restauração Floresta/*Forest restoration economy.* São Paulo: The Nature Conservancy, 2017. Disponível em: <https://www.nature.org/media/brasil/economia-da-restauracao-florestal-brasil.pdf>.

BRASIL. *Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015. Institui o Estatuto da Metrópole,* altera a Lei n 10.257, de 10 de julho de 2001, e dá outras providências. Brasília: Diário Oficial da União, 2015. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13089.htm>.

BRASIL. Energia, Minerais e Combustíveis. Energia. Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira, 2020. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira.

BROWDER, G.; OZMENT, S.; REHBERGER-BESCOS, I.; GARTNER, T.; LANGE, G-M. *Integrating Green and Gray: Creating Next-Generation Infrastructure.* Washington, DC: World Bank and World Resources Institute, 2019.

CARVALHO, N. O. (2008). Hidrossedimentologia prática. 2ª edição, ver., atual e ampliada. Rio de Janeiro, 2008.

DAEE DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA (2020). *Reservatórios de Pedreira e Duas Pontes*. Disponível em https://www.daeepedreiraeduaspontes.com.br/.

FELTRAN-BARBIERI, R.; OZMENT, S.; HAMEL, P.; GRAY, E.; MANSUR, H.; PIAZETTA VALENTE, T.; BALADELLI RIBEIRO, J.; MATSUMOTO, M. *Natural Infrastructure in the Guandu Water System, Rio de Janeiro.* Sao Paulo: WRI Brasil, 2018.

FELTRAN-BARBIERI, R.; OZMENT, S.; MATSUMOTO, M.; GRAY, E.; BELOTE, T.; OLIVEIRA, M. *Infraestrutura Natural para Água na Região Metropolitana da Grande Vitória.* São Paulo: WRI Brasil, 2021.

FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, v. 37, n. 12, p. 4302–4315, out. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1002/joc.5086.

FONTANELE, R.; VASCONCELOS, O. *Análise da viabilidade econômico-financeira de projetos de abastecimento d'água:* O caso do sistema de abastecimento da cidade de Milhã, no estado do Ceará. Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2012. Disponível em: < https://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR510342_8383.pdf>.

GARTNER, T. et al. *Natural Infrastructure: investing in forested landscapes for source water protection in the United States.* Washington: WRI, WRI Report, 2013. Disponível em: <http://www.wri.org/publication/natural-infrastructure>.

GRAY, E.; OZMENT, S.; ALTAMIRANO, J.C.; FELTRAN-BARBIERI, R.; MORALES, G. *Green-Gray Assessment: How to Assess the Costs and Benefits of Green Investments for Water Supply Systems.* Washington DC: World Resources Institute, 2019.

HARDOY, J.E., MITLIN, D., SATTERTHWAITE, D. *Environmental problems in an urbanizing world: find solutions for cities in Africa, Asia and Latin America.* 3ª Ed. Washington: Earthscan, 2010.

ICLEI: Plano de Ação para Implementação da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas, 2021; Resumo. São Paulo, Brasil. Disponível em: https://americadosul.iclei.org/wp-content/uploads/sites/78/2021/04/60-ly-plano-de-acao-campinas-digital-3.pdf.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA 2019. *Sistema de recuperação automática*. Disponível em https://sidra.ibge.gov.br/acervo#/S/Q.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA IEA (2021) Banco de dados IEA, Aluguel de Pasto. São Paulo: Secretaria de Agricultura e Abastecimento/IEA. Disponível em http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precor.aspx?cod_tipo=3&cod_sis=10. Último acesso em 08 de Outubro de 2021.

IUCN e WRI (2014). Guia sobre a Metodologia de Avaliação de Oportunidades de Restauração (ROAM): Avaliação de oportunidades de restauração de paisagens florestais em nível subnacional ou nacional. Documento de trabalho (Edição-teste). Gland, Suíça: IUCN. 125 pp.

JUNQUEIRA, A.; PIMENTEL, J.; CASTRO, G.. *Brazilian Water and Sewage Sector: Is a Revolution Coming?.* New York: BTG Pactual, Equity Research, 2017. Disponível em: <https://static.btgpactual.com/media/brut170308-water-privatization.pdf>.

LAPIG (Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento). *Atlas digital das pastagens brasileiras.* Goiânia: UFG/Lapig, 2021. Disponível em: <https://pastagem.org/atlas/map>.

LOPEZ, H. The social discount rate: estimates for nine Latin American countries. Washington: World Bank/Latin America and the Caribbean Region/Office of the Chief Economist Policy, 2008.

MAPBIOMAS. *Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil.* 2021. Disponível em: <http://mapbiomas.org/>.

OAKLEAF, J. R., MATSUMOTO, M.; KENNEDY, C.M; BAUMGARTEN, L.; MITEVA, L.; SOCHI, K.; KIESECKER, J. *LegalGEO: https:// Conservation Tool to Guide the Siting of Legal Reserves under the Brazilian Forest Code.* Applied Geography 86, September 1:53-65, 2017. Disponível em: <doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.06.025>.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo*; legenda expandida. IAC. Campinas, SP, 1999. 64 p.

OZMENT, S.; GARTNER, T.; DIFRANCESCO, K.; HUBER-STEARNS, H.; LICHTEN, N.; TOGNETTI, S. *Protecting Drinking Water at the Source: Lessons from United States Watershed Investment Programs.* Washington, DC: World Resources Institute, 2016.

OZMENT, S., FELTRAN-BARBIERI, R.; HAMEL, P.; GRAY, E.; BALADELLI RIBEIRO, J.; BARRETO, S.; PADOVEZI, A. *Natural Infrastructure in Sao Paulo's Cantareira System.* Washington, DC: World Resources Institute, 2018.

RODRIGUES, Ricardo Ribeiro; JOLY, Carlos Alfredo; BRITO, Maria Cecília wey de; et al. *Diretrizes para conservação e restauração da biodiversidade no Estado de São Paulo.* [S.l: s.n.], 2008

SAMPAIO, A. O. *Correspondence between Rafael Feltran-Barbieri, Author and Américo Oliveira Sampaio, Coordinator, Secretariat of Sanitation and Water Resources of São Paulo* State, São Paulo, SP, 2017.

SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento). *Relatório de Sustentabilidade de 2019.* Disponível em: <http://www.sanasa.com.br/document/.pdf>.

SANASA (Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento). 2020. *Volume de produtos químicos e produção total de água nas 5 ETA's de Campinas: dados primários.* Dados compartilhados pela Sanasa ao WRI mediante assinatura de termo de compromisso n WRI#7, 2020.

SÃO PAULO, Portal do Governo do Estado de São Paulo. *Governo de SP sanciona lei do novo ICMS Ambiental.* Secretaria de Desenvolvimento Reginal, 2021. Disponível em: https://www.saopaulo.sp.gov.br/secretaria-de-desenvolvimento-regional/governo-de-sp-sanciona-lei-do-novo-icms-ambiental/.

SHARP, R.; NELSON, E. TALLIS, H.T.; RICKETTS, T.; GUERRY, A.D.; WOOD, S.A.; CHAPLIN-KRAMER, R.; NELSON, E. et al. *InVEST 3.9.0 User's Guide.* The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund, 2020. Disponível em: <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/>.

STONE, R.P.; HILBORN, D. *Universal soil loss equation (USLE) factsheet.* Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, Ontario, 2012. Disponível em: <http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/12-051.htm>.

THORNTON PK, HERRERO M. 2010. *Potential for reduced methane and carbon dioxide emissions from livestock and pasture management in the tropics.* Proceedings of the National Academy of Sciences. Disponível em: https://www.pnas.org/content/107/46/19667.

UN United Nations, 2013. *Water Security & the Global Water Agenda A UN-Water Analytical Brief.* http://www.unwater.org/downloads/watersecurity_analyticalbrief.pdf

WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. *Relation of Soil Properties to its Erodibility.* Soil and Water Management and Conservation, 15, 131–137, 1969. Disponível em: <https://doi.org/10.2136/sssaj1969.03615995003300010035x>.

WORLD BANK. *Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters).* Washington, DC: World Bank Group, 2018. Disponível em: https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC.

WRI BRASIL. 2020. *Relatório de Detalhamento da Área de Conectividade da Região Metropolitana de Campinas / coordenação Mariana Oliveira.* Relatório Técnico. In: Projeto Cities4Forests.

AGRADECIMENTOS

Este relatório é produto do projeto INTERACT-Bio e foi desenvolvido em parceria entre o ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade e o WRI Brasil. O trabalho foi possível graças ao suporte financeiro de doadores de ambas as instituições e ao compartilhamento de conhecimento dos parceiros das iniciativas INTERACT-Bio e Cities4Forests.

O estudo contou com o apoio primordial dos revisores que forneceram críticas e sugestões fundamentais para o fortalecimento das análises desenvolvidas. Expressamos nossa sincera gratidão às pessoas que cederam seu tempo e conhecimento: Adriana Isenburg (Sanasa), Bruno Incau (WRI Brasil), Daniel Soares, Daniela Facchini (WRI), Henrique Evers (WRI Brasil), João José Demarchi (PCJ), Juliana Ortega (Programa Nascentes), Maíra Fares Leite (Copasa), Paulo Camuri (WRI Brasil), Rodrigo Sanches Garcia (Gaema) e Thiago Guimarães Rodrigues (WRI Brasil). Um especial agradecimento à equipe da Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável (SVDS) da Prefeitura Municipal de Campinas que contribuiu ativamente no processo de elaboração da pesquisa e publicação: Ângela Cruz Guirao, Gabriel Neves, Carla Camarneiro e Mario Jorge Bonfante Lançone.

Também agradecemos à Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento (Sanasa) por ceder os dados primários sobre os índices de turbidez da água nos pontos de captação da companhia para abastecimento do município de Campinas. Ao contar com os dados primários cedidos pela própria companhia responsável pelo abastecimento, o estudo ganha maior robustez técnica para as análises propostas.

Contamos ainda com a contribuição de muitos especialistas e profissionais técnicos que participaram de reuniões e eventos virtuais, entre 2019 e 2021, em especial os da Prefeitura Municipal de Campinas, da Agência das Bacias PCJ e da Sanasa. Apreciamos muito toda disposição de compartilhar conhecimentos e experiências sobre o território de abrangência deste trabalho.

Por fim, agradecemos a Bruno Calixto, Fernanda Boscaini, Joana Oliveira, Suzanna Lund, Fabíola Zerbini e Henrique Corsi, do WRI Brasil, bem como a Ana Paula Becker e Marília Israel, do ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade, e aos revisores André Caramori e Anaelena Lima.

Com o apoio do

Ministério Federal
do Ambiente, Proteção da Natureza
e Segurança Nuclear

Com base em uma decisão do Parlamento Alemão.

SOBRE OS AUTORES

Vitor Tramontin
Analista de pesquisas no Programa de Florestas, Agricultura e Uso da Terra do WRI Brasil.
Contato: vitor.tornello@wri.org

Rafael Feltran-Barbieri
Economista sênior no Programa de Florestas, Agricultura e Uso da Terra do WRI Brasil.
Contato: rafael.barbieri@wri.org

Leonardo Barbosa
Analista de geoprocessamento no Programa de Florestas, Agricultura e Uso da Terra do WRI Brasil.
Contato: leonardo.barbosa@wri.org

Mariana Oliveira
Gerente do Programa de Florestas, Agricultura e Uso da Terra do WRI Brasil.
Contato: mariana.oliveira@wri.org

Marcelo M. Matsumoto
Foi colaborador do WRI Brasil durante o desenvolvimento desta pesquisa e atualmente é líder de ciência geoespacial na Mombak.
Contato: marcelo@mombak.com.br

Lara Caccia
Especialista em desenvolvimento urbano no Programa de Cidades do WRI Brasil.
Contato: lara.caccia@wri.org

Luciana Alves
Especialista em restauração no Programa de Florestas, Agricultura e Uso da Terra do WRI Brasil.
Contato: luciana.alves@wri.org

Roberto Rüsche
Foi colaborador do ICLEI durante o desenvolvimento desta pesquisa e atualmente é consultor em planejamento urbano, urbanismo e paisagismo e docente (externo) no curso de pós-graduação lato sensu de paisagismo da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp).
Contato: rusche.roberto@gmail.com

Victor Ferraz
Foi colaborador do ICLEI durante o desenvolvimento desta pesquisa e atualmente é consultor de Soluções Baseadas na Natureza.
Contato: victor.biaggi.ferraz@gmail.com

Diogo Meneses Costa
Foi colaborador do ICLEI durante o desenvolvimento desta pesquisa e atualmente é Consultor de Mudança do Clima e Sustentabilidade na EY.
Contato: diogo.meneses.costa@alumni.usp.br

Sophia Picarelli
Foi colaboradora do ICLEI durante o desenvolvimento desta pesquisa e atualmente é Diretora de Soluções Climáticas na Conservação Internacional.
Contato: spicarelli@conservation.org

SOBRE O ICLEI – GOVERNOS LOCAIS PELA SUSTENTABILIDADE

O ICLEI – Governos Locais pela Sustentabilidade é uma rede global de mais de 2.500 governos locais e regionais comprometida com o desenvolvimento urbano sustentável. Ativa em mais de 130 países, influencia as políticas de sustentabilidade e impulsiona a ação local para o desenvolvimento de baixo carbono, baseado na natureza, de maneira equitativa, resiliente e circular.

O ICLEI América do Sul conecta a este movimento global mais de 100 governos associados presentes em oito países. Em 2018, para continuar construindo fortes relações de apoio com seus associados, o secretariado regional abriu dois escritórios de Coordenação Nacional, na Colômbia e na Argentina. O escritório na Colômbia é sediado na Área Metropolitana do Valle de Aburrá (AMVA) e, na Argentina, é sediado na cidade de Rosário. Ao longo desses anos, o ICLEI América do Sul destacou-se no desenvolvimento e execução de projetos nas temáticas: Clima e Desenvolvimento de Baixo Carbono, Resiliência, Resíduos Sólidos, Compras Públicas Sustentáveis, Biodiversidade Urbana, entre outros.

SOBRE O WRI BRASIL

O WRI Brasil é um instituto de pesquisa que transforma grandes ideias em ações para promover proteção do meio ambiente, oportunidades econômicas e bem-estar humano. Atua no desenvolvimento de estudos e implementação de soluções sustentáveis em clima, florestas e cidades. Alia excelência técnica a articulação política e trabalha em parceria com governos, empresas, academia e sociedade civil.

O WRI Brasil faz parte do World Resources Institute (WRI), instituição global de pesquisa com atuação em mais de 60 países. O WRI conta com o conhecimento de aproximadamente 1.700 profissionais em escritórios no Brasil, China, Estados Unidos, Europa, México, Índia, Indonésia e África.

Crédito das fotos
Capa: Rafael Berlandi/Shutterstock; pg. i e 1: Thaioa/Wikimedia Commons; pg. 4, 51: Erich Sacco/Shutterstock; pg. 7, 12, 15, 33, 36, 37, 50, 59: Andrea de Lima/WRI Brasil; pg. 9, 21, 22, 29, 46, contracapa: Renan Pissolatti/WRI Brasil; pg. 18, 65: Léu Britto - Monomito Filmes/WRI Brasil; pg. 31: Stefan Lambauer/Shutterstock; pg. 38: Fabricio Macedo/Wikimedia Commons; pg.48, 54, 58, 63: Marcos Bruvic/Maniva.

Aviso Legal

O ICLEI América do Sul é detentor dos direitos autorais do "título". Solicitações específicas para reprodução devem ser enviadas a iclei-sams@iclei.org

Todos os direitos reservados.

INTERACT-Bio
Ação Integrada pela Biodiversidade

Cities4Forests

ICLEI
Governos Locais
pela Sustentabilidade

WRI BRASIL