



WORLD
RESOURCES
INSTITUTE

INFRAESTRUTURA NATURAL PARA ÁGUA NO SISTEMA CANTAREIRA, SÃO PAULO



FUNDAÇÃO GRUPO BOTÂNICO
DE PROTEÇÃO À NATUREZA

FUNDACIÓN
FEMSA 10 YEARS

IBiO



natural
capital
PROJECT

The Nature
Conservancy 

SUZANNE OZMENT, RAFAEL FELTRAN-BARBIERI, PERRINE HAMEL, ERIN GRAY,
JULIANA BALADELLI RIBEIRO, SAMUEL ROIPHE BARRÊTO, AURÉLIO PADOVEZI,
E THIAGO PIAZZETTA VALENTE

WRIBRASIL.ORG.BR



Design e layout by:
Billie Kanfer
billie.kanfer@wri.org

An aerial photograph of a densely populated city, likely São Paulo, Brazil. The image shows a vast expanse of high-rise apartment buildings and residential areas. A river, possibly the Tietê River, winds through the lower part of the city. A layer of white fog or smog hangs over the middle section of the city, partially obscuring the buildings. The sky is a clear, pale blue. The overall scene is a high-angle, wide-area view of urban development.

ÍNDICE

- 1 **Prefácio**
- 3 **Sumário Executivo**
- 11 **Introdução**
- 21 **Análise da Infraestrutura Natural para Controle de Sedimentos**
- 37 **Efeito da Infraestrutura Natural nos Fluxos Hídricos Sazonais**
- 47 **Roteiro para Investimentos de Escala em Infraestrutura Natural**
- 59 **Conclusão**
- 61 **Referências**
- 64 **Apêndice A: Método de Consulta às Partes Interessadas e Desenvolvimento de Roteiro**
- 66 **Apêndice B: Métodos e Premissas para os Modelos Biofísicos e Componentes do Mapeamento**
- 75 **Apêndice C: Método de Análise Financeira**
- 86 **Agradecimentos**



PREFÁCIO

Quatro anos depois que uma calamitosa crise de abastecimento de água em São Paulo obrigou o fechamento de escolas, arruinou lavouras e secou reservatórios para quase 5% de sua capacidade, a maior região metropolitana do Brasil continua a enfrentar riscos hídricos. Para reforçar o principal Sistema de Abastecimento de Água, o Cantareira, estão sendo implantados projetos de infraestrutura controversos e onerosos, enquanto se deixa de lado uma alternativa promissora: as florestas poderiam auxiliar na filtragem e regulação dos fluxos para o abastecimento da região. Este estudo mostra como a restauração dessas florestas poderia reduzir o estresse hídrico em São Paulo e ainda economizar as finanças do estado.

Florestas saudáveis, em São Paulo ou em qualquer parte do mundo, filtram a água, reduzem a poluição por sedimentos e servem como um mecanismo tampão contra secas e inundações. No entanto, no Sistema Cantareira, três quartos de todas as florestas foram perdidos, deixando no seu lugar uma paisagem degradada que carrega sedimentos para os cursos d'água, dificultando e encarecendo seu tratamento, além de potencializar o estresse hídrico sazonal.

Se trouxermos de volta mesmo que uma pequena parcela dessa mata nativa, poderemos proporcionar benefícios significativos aos cidadãos da Região Metropolitana de São Paulo, às empresas de abastecimento de água, às indústrias ou a outros usuários. O aumento da cobertura florestal em 8% no Cantareira poderia reduzir em 36% a poluição por sedimentos, com 28% de retorno sobre o investimento para os operadores de infraestrutura hídrica em 30 anos. Essa é uma oportunidade de investimentos atrativa para o setor hídrico brasileiro e representa apenas um dos muitos benefícios potenciais que as florestas proporcionam em termos de segurança hídrica. Com a expansão dos esforços direcionados para a conservação e restauração, esses benefícios só irão aumentar, e outros benefícios para o abastecimento de água também poderão ser alcançados.

Embora muitos defensores da abordagem de proteção e recuperação da infraestrutura natural já venham exigindo a restauração do Cantareira, permanece

a pergunta: quem irá investir? Esses proponentes podem usar os resultados financeiros deste relatório para elaborar uma estratégia mais prática para investimentos locais. Podem utilizar os mapas aqui produzidos para apontar as áreas de maior impacto e usar o roteiro para garantir que estejam presentes importantes condições sociais e políticas para alcançar o sucesso. E, mais importante, eles precisam se preparar para lidar com a incerteza inerente ao desempenho da infraestrutura natural — um programa desenhado de forma inteligente e eficiente pode garantir o retorno aos investidores, mesmo que as melhorias no abastecimento de água fiquem nos níveis mais baixos da faixa estimada neste estudo.

Este relatório faz parte de uma série de estudos do WRI que aplica o método de Análise de Investimentos em Infraestrutura Natural (*Green-Gray Assessment*), do próprio WRI, para avaliar novas soluções para os desafios da gestão de recursos hídricos na América Latina. Ele contém um estudo de caso do Green-Gray Assessment na prática, demonstrando a linha de investigação, as necessidades de dados e os cálculos a serem feitos para responder a perguntas semelhantes em outros locais, em qualquer parte do mundo. Esperamos que os gestores de recursos hídricos, os líderes empresariais e políticos, além de grupos da sociedade civil, possam se beneficiar das informações aqui contidas para estimular um esforço renovado de conservação e restauração das florestas, nesta e em outras regiões.

São Paulo tem uma personalidade toda própria, mas seus problemas de abastecimento de água são demasiadamente familiares. Muitas cidades em todo o mundo estão tentando instalar novas tubulações e bombas para resolver esses problemas cada vez maiores, mas ignoram os benefícios financeiros de usarem as florestas cruciais a montante, que ficam fora dos limites urbanos. Seja no Brasil, na América Latina ou no mundo inteiro, a infraestrutura natural deve ser considerada uma estratégia de gestão de recursos hídricos.



Andrew Steer
President
World Resources Institute



Rachel Biderman
Diretora-Executiva
WRI Brasil



SUMÁRIO EXECUTIVO

A incorporação da infraestrutura natural ou infraestrutura verde nos planos de gestão hídrica pode aumentar a eficiência, o desempenho e a resiliência do sistema de infraestrutura convencional. No entanto, os tomadores de decisão muitas vezes não dispõem das ferramentas e dos dados necessários para identificar e avaliar estratégias de infraestrutura natural em paralelo às abordagens tradicionais de gestão hídrica.

Este relatório aborda essas necessidades e avalia como a restauração das florestas enquanto infraestrutura natural pode complementar e salvaguardar o Sistema de Abastecimento de Água do Cantareira, principal fonte de captação de água para São Paulo. Desse modo, o relatório demonstra uma abordagem analítica que pode ser replicada e destaca os dados necessários para essa avaliação. O relatório também faz recomendações para o delineamento de programas de modo a facilitar os investimentos locais em infraestrutura natural.

DESTAQUES

- Utilizando a Análise de Investimentos em Infraestrutura Natural (Green-Gray Assessment), do World Resources Institute, avaliamos oportunidades de investimento em restauração para alcançar dois objetivos da gestão hídrica no maior sistema de abastecimento de água de São Paulo: reduzir os custos de controle de sedimentos (turbidez da água e assoreamento dos reservatórios) e garantir os fluxos hídricos.
- A restauração direcionada de 4.000 hectares de mata nativa exigiria investimentos de cerca de R\$ 119 milhões, o que geraria uma economia de R\$ 338 milhões no uso de energia, produtos químicos e evitaria a depreciação de equipamentos, com benefício líquido de R\$ 219 milhões em 30 anos.
- A infraestrutura natural reduz a erosão do solo em cerca de 36%, evitando custos de manejo de sedimentos resultando em 28% de retorno sobre o investimento. De modo geral, esse retorno está alinhado com o desempenho financeiro do setor de saneamento brasileiro.
- Reflorestar 2% da bacia para controle de sedimentos é apenas um dos componentes de um plano mais amplo de infraestrutura natural. Mais infraestrutura natural poderia aumentar o fluxo hídrico, mitigar o risco de inundações e contribuir para a vitalidade do meio rural.
- Os gestores de recursos hídricos locais devem integrar a infraestrutura natural ao planejamento para usufruir desses benefícios e contribuir para o crescente movimento de restauração no Brasil.
- Os programas de infraestrutura natural na região precisam de mais financiamentos para se tornarem plenamente operacionalizados. Este relatório propõe estratégias para melhorar o desempenho dos programas e atrair investimentos.
- Os interessados em replicar essa abordagem encontrarão nos apêndices os métodos e fontes de dados detalhados.

Gestão de recursos hídricos por meio da infraestrutura natural

Florestas e áreas naturais manejadas de modo sustentável têm papel crucial como “infraestrutura natural”. A natureza ajuda a garantir o abastecimento hídrico urbano, controlando a erosão, purificando a água, mitigando inundações e, muitas vezes, suprindo água continuamente durante períodos de seca. Além de aumentarem a segurança hídrica, essas áreas também proporcionam benefícios financeiros e operacionais às empresas de abastecimento por meio da redução dos custos de tratamento da água e dos custos operacionais e de manutenção, além do prolongamento da vida útil da infraestrutura construída.

Em São Paulo, a maior parte da infraestrutura natural precisa ser restaurada e conservada.

Com 22 milhões de habitantes, a Região Metropolitana de São Paulo é a maior da América Latina, e o Sistema de Abastecimento de Água do Cantareira (Sistema Cantareira ou Cantareira) é sua maior e mais importante fonte hídrica. A vulnerabilidade desse sistema se evidenciou em 2014–15, quando o abastecimento de água entrou em crise e esteve à beira do colapso. Além disso, a poluição dos mananciais por sedimentos é um problema persistente que requer manejo constante na região. No Sistema Cantareira, resta apenas um quarto da mata nativa original, e este estudo constatou que a restauração da floresta em áreas estratégicas poderia ser parte da solução desses problemas.

Para enfrentar esse desafio, vários programas começaram a restaurar áreas naturais visando garantir um suprimento de água limpa e constante para o Sistema Cantareira. Após uma década de pequenas conquistas, esses programas de infraestrutura natural — programas de conservação ou restauração de ecossistemas que visam diretamente melhorar a segurança hídrica — estão se tornando mais ambiciosos. Sua meta é garantir mais recursos financeiros para aumentar a escala das atividades, envolvendo beneficiários do setor hídrico, como a Sabesp, empresa de abastecimento de água de São Paulo, os comitês da bacia Piracicaba-Capivari-Jundiaí, os fabricantes de bebidas e outras indústrias dependentes de água. Uma vez garantidos os recursos financeiros, esses programas poderão expandir seus esforços e gerar resultados em grande escala.

Sobre este relatório

Este relatório tem dois objetivos: oferecer aos gestores de recursos hídricos um panorama sobre o potencial da infraestrutura natural no controle de sedimentos e segurança hídrica, e demonstrar um processo para avaliação de oportunidades de investimento em infraestrutura natural. Os gestores de recursos hídricos, como os comitês locais da bacia hidrográfica, a empresa de abastecimento de água e as agências governamentais de recursos hídricos podem usar este relatório para compreender por que, onde e quando investir em infraestrutura natural como estratégia de gestão da água. Os programas de infraestrutura natural podem usar esses resultados para melhorar o delineamento de suas estratégias. Ao mesmo tempo, o relatório oferece um método e os dados necessários para a condução da análise, destacando um plano de pesquisa que ajude a fortalecer análises suplementares.

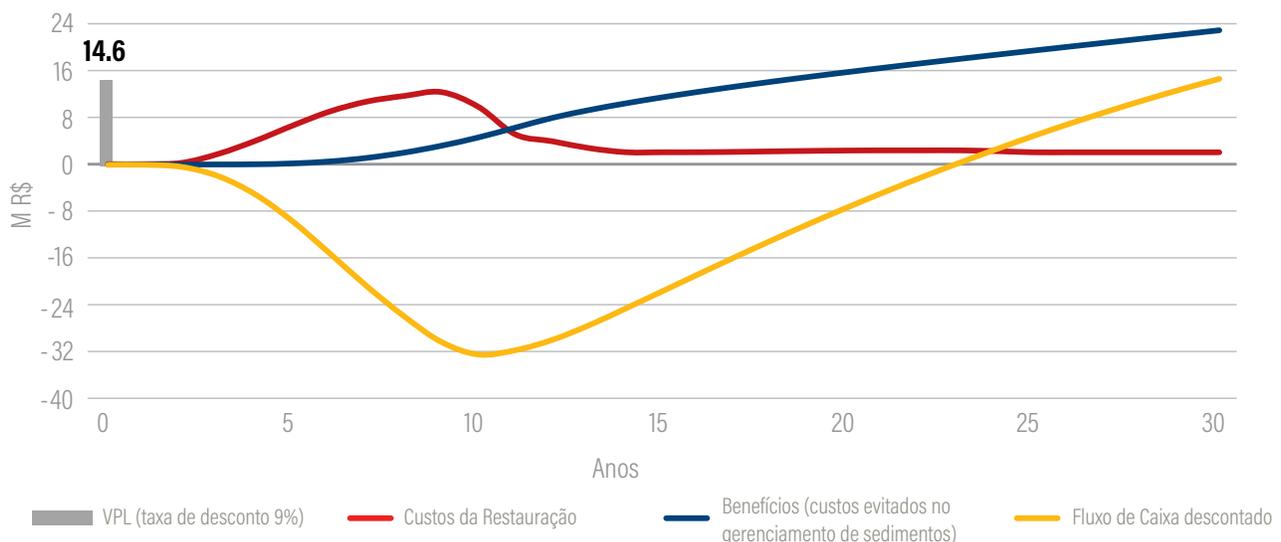
O relatório apresenta em detalhe os resultados da Análise de Investimento em Infraestrutura Natural (Green-Gray Assessment) do World Resources Institute, que fortalece a justificativa financeira para que o setor hídrico invista

em infraestrutura natural. Combinando análises financeiras, biofísicas e geoespaciais com consultas a partes interessadas, estimamos alguns dos benefícios diretos que poderiam ser usufruídos pelos operadores de infraestrutura hídrica se fossem implementadas estratégias de infraestruturas naturais. Em paralelo ao Green-Gray Assessment, apresentamos uma revisão das principais condições necessárias para aumentar a probabilidade de sucesso de um programa de infraestrutura natural. Essa abordagem gerou diversas contribuições para aumentarem as chances de sucesso dos investimentos em infraestrutura natural.

Infraestrutura natural para controle de sedimentos: Resultados

A restauração e a conservação de florestas em áreas prioritárias no Sistema Cantareira podem gerar economias substanciais para empresas de abastecimento. A restauração direcionada de 4.000 hectares (ha) de mata nativa poderia reduzir em mais de um terço a quantidade de sedimentos carregados para o sistema de abastecimento de água. A redução da poluição por sedimentos reduziria os custos de controle da turbidez e dragagem, gerando um retorno sobre o investimento (ROI) estimado em 28%, em 30 anos (Tabela ES-1).

Figura ES-1 | Desempenho financeiro da restauração direcionada de 4.000 hectares (R4000) em 30 anos



Nota: R4000 é um cenário de investimentos no qual a restauração é implementada em 4.000 ha de pasto para reduzir a poluição por sedimentos. Os custos incidem nos 13 primeiros anos do projeto, enquanto os benefícios (custos evitados de tratamento da água, dragagem e depreciação de equipamentos) começam a ser contabilizados a partir do terceiro ano, aumentando gradualmente à medida que a floresta cresce.

Fonte: Autores.

Tabela ES-1 | Desempenho financeiro da restauração de 4.000 hectares (R4000) como infraestrutura natural para controle da poluição por sedimentos

INDICADORES FINANCEIROS	R\$, MILHÕES
CUSTOS EVITADOS GERENCIAMENTO ÁGUA	
Tratamento de turbidez	295,4
Dragagem	38,2
Depreciação	4,6
TOTAL	338,1
CUSTOS DA RESTAURAÇÃO	
Investimentos	35,7
Custos de oportunidade da terra	44,0
Custos operacionais e manutenção	23,4
Custos de transação	16,0
TOTAL	119,1
BENEFÍCIOS LÍQUIDOS	
Benefícios líquidos	219,1
Relação Benefício Custo (custos evitados/custos da restauração)	2,84
Margem Benefícios Líquidos (benefícios líquidos/custos evitados)	0,65
PERFORMANCE FINANCEIRA (SOB TAXA DE DESCONTO DE 9%)	
Taxa interna de Retorno (%)	12
Valor Presente Líquido (R\$, milhões)	14,6
Payback (anos)	23
Retorno sobre o Investimento (%)	28

Notas: Em valores correntes em 31 de dezembro de 2017. Os custos, benefícios e índices financeiros são apresentados mais detalhadamente no Capítulo 2 e no Apêndice C. Valores arredondados, podendo apresentar pequenas diferenças.
Fonte: Autores.

A Figura ES-1 mostra o comportamento dos custos e benefícios no cenário de investimentos, resultando um Valor Presente Líquido (VPL) de R\$ 14,6 M. Esse retorno financeiro está alinhado com os indicadores típicos do setor de saneamento brasileiro. Os benefícios líquidos continuariam a se acumular após 30 anos caso fosse mantida a infraestrutura natural (por exemplo, se as áreas reflorestadas continuarem cobertas por mata).

Os esforços de restauração podem ser direcionados para áreas prioritárias que tenham o maior potencial de contribuição para as metas de gestão de sedimentos.

Restaurar 2% da bacia hidrográfica aleatoriamente reduziria a poluição por sedimentos em apenas 8%, mas se a restauração for direcionada para áreas prioritárias (maior susceptibilidade à erosão), o carreamento de sedimentos poderia ser reduzido em 36%. A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) tem adotado um valioso programa de restauração, tendo já plantado quase 1.200 ha de árvores nas suas propriedades no Cantareira. A despeito disso, as áreas prioritárias para infraestrutura natural diagnosticadas aqui estão fora do seu perímetro de ação. Parcerias com proprietários rurais são cruciais para que se possam implementar a estratégia ideal, focada na maximização das soluções de manejo de sedimentos.

Restaurar 2% da bacia hidrográfica em áreas prioritárias para controle de sedimentos é apenas um dos componentes de um plano mais amplo. Um segundo esforço para fortalecer e impulsionar a infraestrutura natural deve identificar áreas prioritárias a fim de se aumentar a regulação do fluxo hídrico, mitigar o risco de inundações, melhorar os meios de subsistência rurais e ampliar a conectividade da paisagem.

Este estudo adota premissas conservadoras baseadas em dados e informações de partes interessadas locais, a fim de gerar resultados robustos, relevantes para a tomada de decisão. Algumas dessas premissas são incertas. Se adotássemos outras premissas razoáveis, os resultados seriam também alterados (Tabela ES-2). A análise de sensibilidade do estudo mostra que a incerteza sobre a exportação de sedimentos é o fator de maior influência no VPL



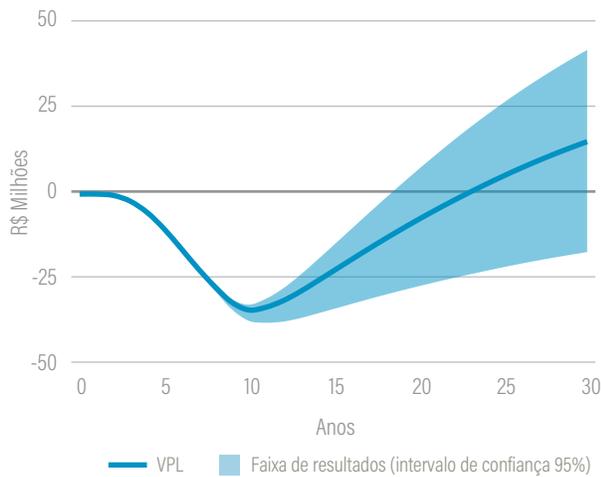
Tabela ES-2 | Desempenho financeiro do investimento em infraestrutura natural sob premissas alternativas

EM NOSSO ESTUDO, CONSIDERAMOS/ESTIMAMOS...	SE, EM VEZ DISSO, CONSIDERARMOS...	VPL (R\$, MILHÕES)	ROI (%)	PERÍODO DE PAYBACK (ANOS)
São necessários 40 anos para que uma floresta atinja sua plena maturidade , e a retenção de sedimentos segue uma trajetória semelhante. No entanto, a experiência de atores locais sugere que áreas reflorestadas começam a controlar mais precocemente a erosão, com resultados significativos já nos primeiros anos.	Uma floresta alcança seu pleno potencial de controle da erosão em 20 anos	32	62	19
A restauração da floresta ocorre em 10 anos , conforme as projeções do Fundo de Água para São Paulo. No entanto, o ritmo varia dependendo da rapidez com que o fundo consegue investimentos e da capacidade de implementação dos parceiros.	O projeto é implementado em 5 anos	26	36	19
Os custos de restauração são de R\$ 26 mil por hectare, em média , incluindo os “custos de transação” como sensibilização, engajamento e contratos com proprietários rurais. Porém, esses custos de transação costumam ser omitidos em estudos semelhantes feitos no Brasil.	Sem custos de transação para restauração para (20% de redução)	22	47	20
Uma taxa de desconto de 9% usada pela Sabesp para representar um cenário de risco ; no entanto, outros investidores podem usar taxas de desconto mais altas ou mais baixas. Uma taxa de desconto social de 5% é compatível com projetos de compartilhamento de risco, em que os custos do investimento preventivo é muito menor que o remediador.	Uma taxa de desconto de 5%	58	82	19

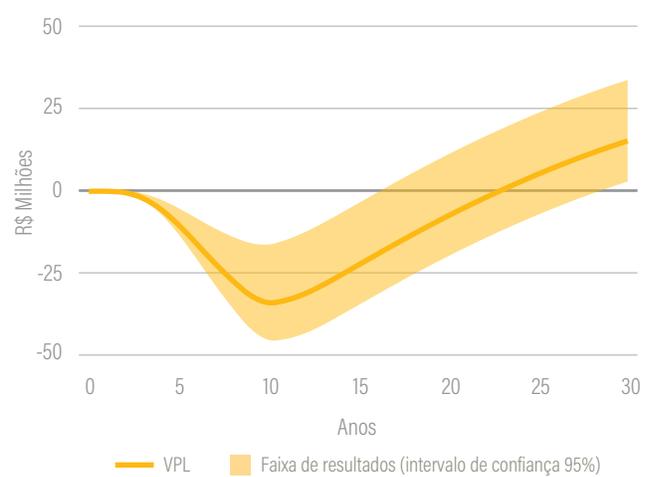
Fonte: Autores.

Figura ES-2 | Possíveis VPL de R4000 (R\$, milhões)

Faixa de incerteza para retenção de sedimentos



Faixa de incerteza para custos de restauração de floresta



Notas: Gráfico à esquerda: Faixa de variação de VPL em função das variações de desempenho na retenção de sedimentos (intervalo de confiança de 95%).

Gráfico à direita: Faixa de variação de VPL em função das variações nos custos de restauração (limites com base em entrevistas e publicações, descritas no Apêndice C) (intervalo de confiança de 95%).

Fonte: Autores.

(Figura ES-2). O custo da restauração da floresta também é incerto, mas não traz riscos à viabilidade financeira do cenário de investimentos estudado.

Compreender a incerteza é o primeiro passo para controlá-la. Os programas de infraestrutura natural podem ser esboçados de modo a mitigar riscos do investimento associados à incerteza. Se o R4000 fosse implementado duas vezes mais rápido que o planejado, por exemplo, o VPL previsto poderia quase duplicar, com redução significativa do risco de perdas financeiras. Do mesmo modo, as estratégias de financiamento da infraestrutura natural podem ser delineadas de modo a mitigar riscos; por exemplo, o desempenho financeiro do R4000 pode melhorar se o risco for compartilhado por um *pool* de investidores ou combinando-se financiamentos público e privado para aproveitar recursos de programas governamentais.

Infraestrutura natural para fluxos hídricos sazonais: Resultados

Garantir um abastecimento suficiente na estação seca é componente crucial para o sistema hídrico. À medida que as mudanças climáticas alteram a sazonalidade das chuvas, mais relevante se torna o manejo dos estoques

e fluxos de água no sistema de abastecimento. Enquanto grupos conservacionistas postulam que a infraestrutura natural poderia aumentar a disponibilidade hídrica na estação seca, gestores de recursos hídricos expressam preocupação com a possibilidade de que a maior cobertura florestal reduza a disponibilidade hídrica. Avaliamos esses dois postulados para verificar se e como a infraestrutura natural poderia dar suporte aos objetivos de disponibilidade hídrica.

A restauração da floresta provavelmente aumentará os fluxos na estação seca, mas seu impacto na disponibilidade hídrica anual total poderá ser positivo ou negativo, dependendo do tipo de floresta restaurada.

Restaurar florestas em altitude elevada poderia aumentar a disponibilidade hídrica graças à capacidade da floresta de captar água da neblina (*fog capture*, em inglês). Por outro lado, o aumento da evapotranspiração por outros tipos de mata pode se contrapor ligeiramente a esses benefícios. Apesar de termos lançado mão de modelos e conceitos científicos estabelecidos, os dados de que dispúnhamos e as tentativas de modelagem das interações entre florestas e fluxos hídricos nessa região se mostraram insuficientes e inconclusivos, gerando resultados com grandes incertezas (>50%).

Nosso modelo indica que a restauração da floresta teria um impacto marginal (provavelmente positivo) na disponibilidade hídrica. Em nosso modelo, a restauração de 4.000 ha de floresta resultaria em uma variação de apenas +/- 0,2% do fluxo anual total. A título de comparação, o sistema de abastecimento de água da Região Metropolitana tem índice de perda cerca de 20% de toda a sua água por vazamentos, desvios e diferenças de medição. Assim, o impacto da restauração da floresta na disponibilidade hídrica provavelmente não irá garantir qualquer mudança na gestão de recursos hídricos.

Da análise ao investimento

A infraestrutura natural representa uma atrativa oportunidade de investimento para a melhoria da gestão hídrica na Cantareira. Fatores como o desenho do programa, a estrutura de negociação e as condições sociopolíticas externas têm impacto significativo nas chances de sucesso do programa de infraestrutura natural. Os programas de infraestrutura natural, os grupos de pesquisa e os gestores de recursos hídricos precisam agir para abordar esses fatores de sucesso.

Os gestores de recursos hídricos poderão conseguir serviços de abastecimento hídrico mais resilientes e mais baratos, apoiando o delineamento e a implementação de estratégias de infraestrutura natural. Esses gestores poderão refinar as premissas e os dados produzidos por este estudo para fundamentar o desenho dos programas, ajudar a identificar e incorporar oportunidades de infraestrutura natural dentro do rol de infraestrutura existente e planejado, e apoiar o desenvolvimento de uma estratégia de financiamento coerente, de longo prazo, e que aproveite os recursos do setor hídrico.

Financiamentos com arranjos de capital público e privado poderão reduzir o risco das estratégias de infraestrutura natural, criando oportunidades de investimento ainda mais atrativas.

Os programas de infraestrutura natural deverão melhorar a coordenação e aperfeiçoar o desenho dos programas.

As partes interessadas identificaram diversas barreiras ao crescimento em escala desses programas, além da necessidade de:

- continuar construindo sistemas de monitoramento para avaliar o desempenho da infraestrutura natural nas iniciativas já existentes;
- desenvolver planos de bacia hidrográfica mais robustos e detalhados para orientar as atividades dos programas;
- obter mais envolvimento dos proprietários rurais no sentido de oferecer atividades alternativas de renda via restauração e ao mesmo tempo incrementar a oferta de serviços ambientais essenciais na provisão de qualidade da água; e
- aumentar a colaboração institucional para obter resultados em escala sistêmica equilibrados.

A pesquisa direcionada servirá de base para o avanço de programas de infraestrutura natural de alta qualidade, baseados em dados. Este estudo contribuiu com a construção de dados relevantes para a gestão hídrica através infraestrutura natural. São necessárias, porém, mais pesquisas para reforçar a análise. A expansão do monitoramento hidrológico, por exemplo, poderá aumentar o grau de certeza e a robustez do desempenho da infraestrutura natural no controle da poluição por sedimentos e dos fluxos hídricos sazonais, além de importantes serviços ainda não avaliados, como o controle de inundações.

Abordagens de financiamento combinado entre capital público e privado poderão reduzir o risco das estratégias de infraestrutura natural, criando oportunidades de investimento ainda mais atrativas para o setor hídrico.



CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

O Sistema de Abastecimento do Cantareira (Sistema Cantareira ou Cantareira) é a principal fonte de água da Região Metropolitana de São Paulo e está sob constante pressão desde a crise hídrica de 2014-2015. Este estudo procurou examinar opções de investimento em infraestrutura natural para auxiliar a gestão do abastecimento, avaliando a performance financeira da restauração de florestas para a melhoria da qualidade da água e do fluxo hídrico, como estratégias auxiliares aos investimentos em infraestruturas convencionais baseadas em obras da construção civil.

Nossa abordagem analítica se baseia nos métodos da Análise de Investimentos em Infraestrutura Natural (Green-Gray Assessment) (Gray et al. no prelo; Talberth et al. 2013; Gartner et al. 2013) e na Avaliação de Disponibilidade de Investimentos para Bacias Hidrográficas (*Watershed Investment Readiness Assessment*) (Ozment et al. 2016), ambos elaborados pelo World Resources Institute (WRI).

Baseiam-se no levantamento de dados e informações primárias oriundas de consultas a atores-chave locais e na utilização de instrumentos de análise financeira, biofísicas e geoespaciais.

O estudo está dividido em 5 capítulos. O **Capítulo 1** descreve o Sistema Cantareira e os desafios para a gestão da água e sugere como esse sistema pode se beneficiar do uso da infraestrutura natural, mais especificamente da conservação e restauração da floresta como estratégia de gestão de sedimentos. O **Capítulo 2** apresenta uma análise financeira que estima o retorno sobre o investimento (ROI) do projeto e caracteriza o comportamento dos custos e benefícios relacionados, ao longo do tempo, quando se utiliza a infraestrutura natural implementada em paralelo ao sistema de infraestrutura existente. O **Capítulo 3** analisa possíveis impactos da infraestrutura natural nos fluxos hídricos sazonais, visando estimular mais pesquisas e discussões. O **Capítulo 4** discute opções dos programas de infraestrutura natural para financiarem projetos no Cantareira, detalha uma gama de possíveis agentes financeiros e propõe ações necessárias para

facilitar a sua implementação. O **Capítulo 5** conclui o relatório e recomenda os próximos passos para os gestores de recursos hídricos e dos programas de infraestrutura natural no Cantareira, além de destacar futuras linhas de pesquisa. Este relatório é complementado por três apêndices que explicam os métodos, as premissas e os dados usados na nossa análise.

Sucessos e desafios da gestão hídrica no Sistema Cantareira

O Cantareira é o maior dos seis sistemas de abastecimento hídrico de São Paulo e fornece quase metade de toda a água consumida pelos 22 milhões de habitantes da área metropolitana. O sistema é operado pela Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Os comitês da bacia Piracicaba-Capivari-Jundiaí (PCJ), da bacia do Alto Tietê e suas respectivas agências têm a tarefa de gerenciar a área de drenagem de 228.000 hectares (ha) na qual se insere o sistema de infraestrutura hídrica.

O Sistema foi idealizado para suprir parte da região metropolitana e gerar redundância na oferta de água limpa e abundante face a mudanças ambientais e uso das terras, estresse hídrico e poluição. Desde sua criação na década de 1970, o sistema tem sido, em grande parte, bem-sucedido. No entanto, eventos recentes – como a seca intensa de 2014/2015 – e dificuldades persistentes com o gerenciamento – perdas, mal dimensionamento da demanda e medidas paliativas em lugar de





estruturantes – ressaltaram a vulnerabilidade do sistema às mudanças climáticas e à degradação ambiental, despertando interesse no emprego de novas estratégias para salvaguardá-lo.

Desafios do abastecimento de água:

O Sistema Cantareira possui seis reservatórios interconectados para garantir o abastecimento de água durante todo o ano, apesar do clima sazonal de São Paulo e dos índices pluviométricos geograficamente heterogêneos (Figura 1). No entanto, o sistema falhou durante a seca de 2014-2015, a pior e mais prolongada desde 1930. A seca reduziu em quase 30% o volume de água produzido para a Grande São Paulo, que caiu de 71 m³/s (metros cúbicos por segundo) em janeiro de 2014 para 50 m³/s em fevereiro de 2015. No auge da crise, os reservatórios do Cantareira operaram em volume morto. A Sabesp foi forçada a implantar novas estruturas de preços para inibir o consumo, impor limites rigorosos às retiradas de água e instalar tubulações temporárias para alcançar os níveis baixos dos reservatórios. Segundo estimativas, entre 2014 e 2015, a Sabesp perdeu R\$ 1,5 bilhões em consequência da seca (Sabesp 2015).

Desafios da poluição por sedimentos: Como a maioria dos sistemas de abastecimento de água, o Cantareira sofre constantemente com poluição por sedimentos. Os sedimentos entram no sistema de abastecimento de água à medida que o solo é deslocado do terreno durante as chuvas intensas, o que pode levar à maior erosão e ao carreamento de solo, aumentando, por sua vez, a necessidade de tratamento da água em função da turbidez gerada. Os muitos reservatórios do Cantareira

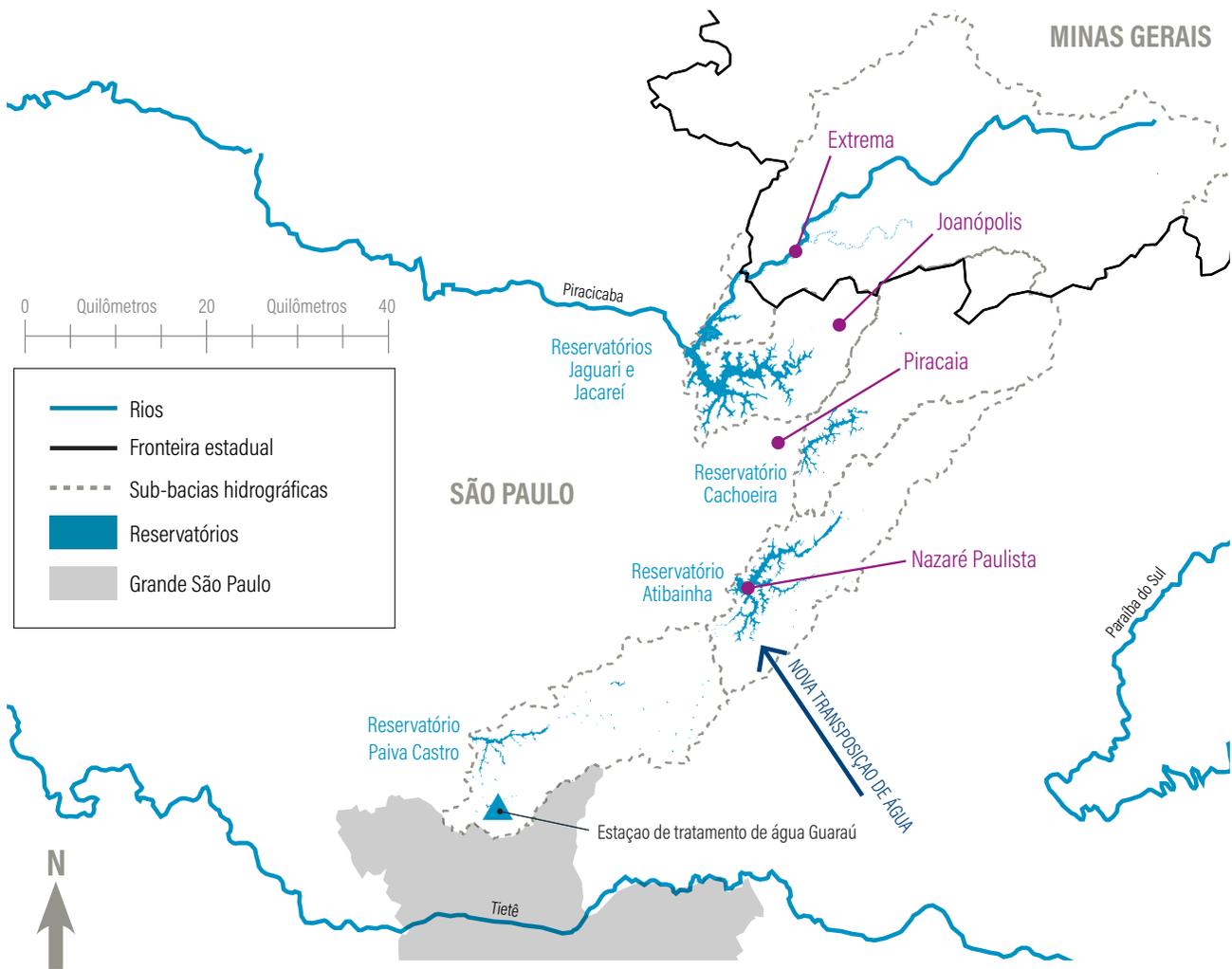
captam cerca de 87% de todo o sedimento que entra no sistema, o que reduz a turbidez a jusante (ANA e DAEE 2013). Entrevistas realizadas para este estudo assinalaram que os níveis médios de turbidez da água bruta no Cantareira é baixo, entre 3-10 NTU, sendo o que apresenta os mais baixos níveis de poluição por sedimentos, o que indica que os custos de controle em outros sistemas são ainda mais elevados.

A despeito, porém, da turbidez ser relativamente baixa no Cantareira, o sistema trata e fornece um volume tão elevado de água que os custos cumulativos são significativos. Os sedimentos têm pelo menos três formas de impacto no custo de fornecimento de água:

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 (SST). Insumos químicos, energia, mão de obra, lavagem dos equipamentos e reposição de materiais filtrantes são necessários para retirar os sólidos em suspensão que causam a turbidez (Hespanhol 2017).

Custos de dragagem: Os sedimentos carreados e saturados na água se depositam nos reservatórios, reduzindo a capacidade de armazenamento ou exigindo que sejam dragados para remoção do lodo. A dragagem pode ser um processo oneroso, embora o material retirado possa ser vendido para recuperar os custos, especialmente para o setor da construção civil.

Figura 1 | Representação esquemática do Sistema Cantareira



Notas: A Sabesp, empresa estatal de águas de São Paulo, opera o sistema de infraestrutura construído; os comitês das bacias PCJ e Alto Tietê governam as bacias hidrográficas de 228.000 hectares que alimentam o sistema.

Fonte: Adaptado de ANA 2016a.

Depreciação de equipamentos: A poluição por sedimentos pode levar ao desgaste da infraestrutura hídrica, exigindo manutenções e reposições mais frequentes dos equipamentos envolvidos no processo de remoção da turbidez. Esse desgaste, por outro lado, influencia a taxa de depreciação dos equipamentos (U.S. EPA 2013).

Os desafios relativos à qualidade e à disponibilidade da água deverão aumentar em função das mudanças climáticas, com o incremento de eventos extremos, alternando chuvas torrenciais e secas

prolongadas. O nível médio de precipitação anual deverá aumentar entre 5 a 20% até 2050 (Young e Nobre 2010), e até 2030 haverá risco de inundações em uma área cerca de 46% maior no sudeste brasileiro (Ferraz et al. 2013), o que implica maior necessidade de gerenciamento de sedimentos em função de erosões mais frequentes e profundas. Por outro lado, com períodos mais prolongados de seca (Marengo et al. 2013) será cada vez mais importante captar e armazenar água durante a estação chuvosa para uso do excedente durante a estiagem.

Como gerenciar o risco hídrico

Para lidar com essas questões, a Sabesp tem como sua principal prioridade aumentar a resiliência e a redundância nos sistemas de infraestrutura hídrica de São Paulo. No fechamento da edição deste relatório, o Sistema Cantareira operava com 36% de sua capacidade, acendendo o alerta amarelo.

A fim de lidar com os problemas crônicos de oferta, a Sabesp tem planejado investir na ampliação do sistema e no aumento da oferta, o que envolve explorar novos reservatórios e expandir os sistemas de infraestrutura. Os projetos incluem:

■ **Transposição da água do rio Paraíba do Sul para o Sistema Cantareira:**

Com a nova tubulação de 13 km e o túnel de 6 km para transferir água do Reservatório Jaguari, da bacia do rio Paraíba do Sul para o Reservatório Atibainha, do Sistema Cantareira, serão fornecidos, em média, mais 5,1 m³/s, e no máximo 8,5 m³/s, ou seja, cerca de 15% de aumento no abastecimento total de água. Originalmente, o custo do projeto foi estimado em R\$ 540 milhões e sua conclusão estava prevista para fevereiro de 2017 (Lobel 2015). No entanto, devido à falta de licenças ambientais apropriadas e outros problemas, o projeto precisou de mais um ano para ser concluído. (O Globo 2017a). A Sabesp terá de pagar cerca de R\$ 3,2 milhões em compensação ambiental, segundo o relatório de impacto ambiental. A legislação do Sistema Nacional de Áreas Protegidas exige que essa compensação seja aplicada nas áreas afetadas pelo projeto, embora não esteja claro exatamente como ela será investida. Outro uso possível desses fundos de compensação é a restauração de áreas degradadas e a melhoria da resiliência do sistema.

A infraestrutura construída resolve apenas alguns dos problemas de segurança hídrica de São Paulo. E a nova infraestrutura hídrica será tão suscetível à poluição por sedimentos quanto a infraestrutura existente.

- **O sistema hídrico São Lourenço:** A criação de um novo reservatório a cerca de 83 km da Grande São Paulo fornecerá mais 4,7 m³/s de água. Os custos do projeto estão estimados em R\$ 1,5 bilhão. Planejado originalmente para ser concluído em outubro de 2017, esse projeto enfrentou interrupções determinadas por tribunais de São Paulo, que exigiram mais estudos de impacto ambiental, e foi finalmente concluído em abril de 2018 (O Globo 2017b).

Esses projetos visam interligar os sistemas de reservatórios de São Paulo e aumentar a resiliência à variabilidade sazonal e interanual. No entanto, essa abordagem tem algumas desvantagens. Os projetos geraram controvérsia nas comunidades locais, que acham que apenas a cidade de São Paulo será beneficiada e que seus próprios recursos hídricos poderão ser ameaçados. Essas



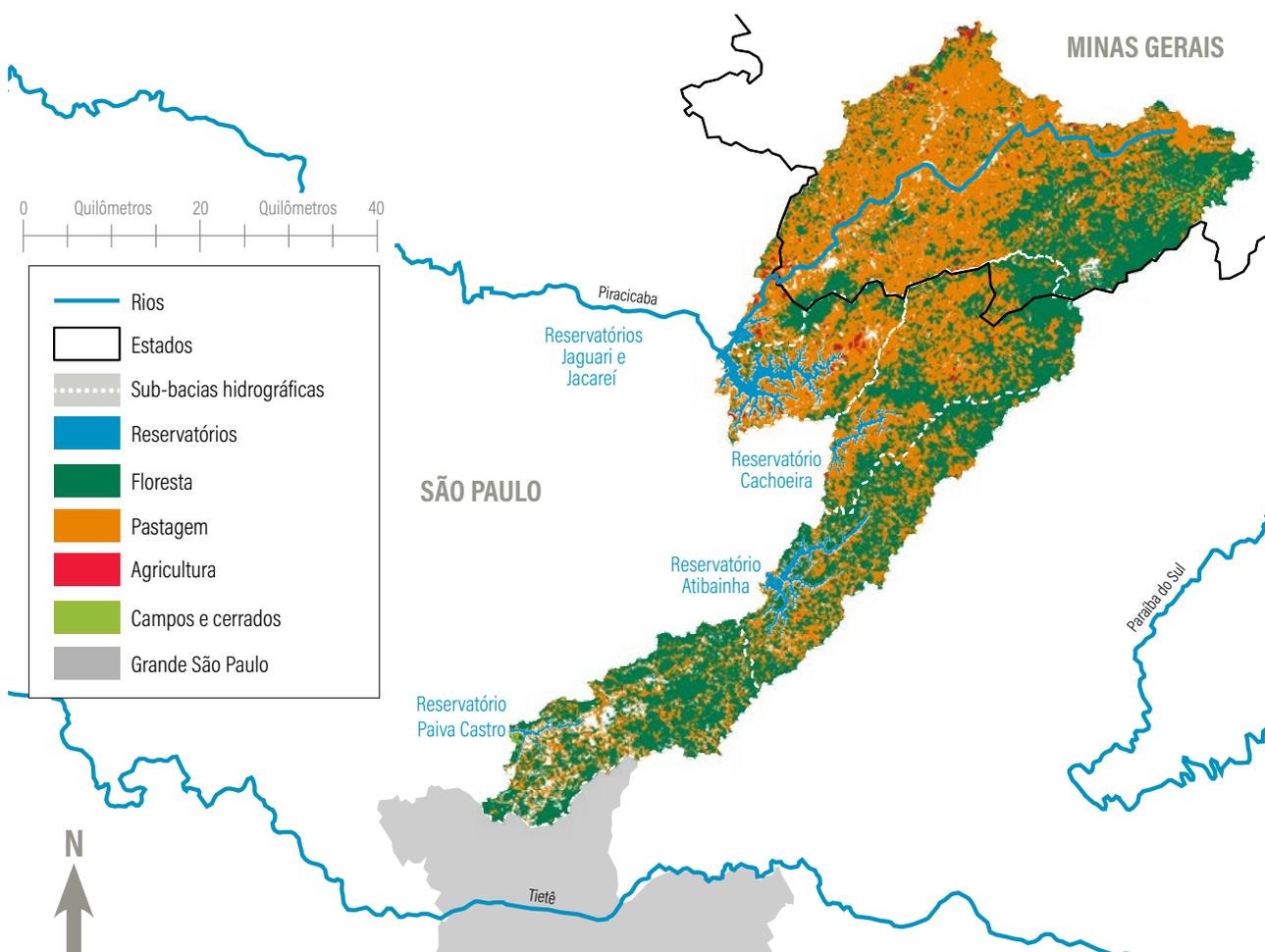
preocupações, além das dificuldades com licenças ambientais, causaram atrasos onerosos. Além disso, os custos de construção e operação desses projetos são altos; a Sabesp precisa pagar pela energia para bombeamento de água de locais distantes e paga taxas sobre as transposições entre bacias hidrográficas (PCJ 2015).

A infraestrutura convencional resolve apenas alguns dos problemas de segurança hídrica de São Paulo. E a nova infraestrutura hídrica será tão suscetível à poluição por sedimentos quanto a existente. Embora os atuais planos de interligação dos sistemas de abastecimento de água e de extensão de capacidade dos reservatórios possam ajudar a resolver essas dificuldades, permanecem dúvidas: Essas soluções são suficientes? Que medidas alternativas poderiam salvaguardar e melhorar o desempenho do sistema?

Como enfrentar os desafios do abastecimento de água por meio da infraestrutura natural

Não há dúvida de que não se poderá enfrentar o problema crônico de abastecimento de água sem uma revolução no consumo, através especialmente do reúso e uso primário racionalizado. Mas quando o assunto é oferta, companhias de abastecimento têm se concentrado quase exclusivamente em estratégias convencionais de gestão hídrica. A Sabesp tem se empenhado em restaurar suas áreas privadas e conserva aproximadamente 35 mil hectares, mas a saúde das terras que integram os 228 mil hectares de área de drenagem em torno do sistema Cantareira (Figura 2) tem impacto significativo no estresse hídrico e na poluição por sedimentos enfrentados pela companhia.

Figura 2 | Cobertura da terra no Sistema Cantareira



Fonte: Dados fornecidos por The Nature Conservancy.

Controle de sedimentos: A principal fonte de poluição por sedimentos é a falta de manejo das terras, especialmente das pastagens degradadas que cobrem cerca de 30% da área da bacia. A conservação e a restauração estratégicas da mata nativa podem reduzir substancialmente os índices de erosão. Estudos feitos na região observaram e geraram modelos da capacidade das florestas de reduzir a carga de sedimentos (Honzák et al. 2012; Machado et al. 2003; Fujieda et al. 1997) convergentes com o encontrado em outras regiões do mundo (Neary et al. 2009). Machado et al. (2003) constataram que na bacia hidrográfica do Piracicaba, a qual pertence parte do Cantareira, a conversão de um hectare de pastagem em mata nativa diminui em até 94% a produção de sedimentos naquele respectivo hectare.

Esses benefícios hidrológicos podem reduzir os custos de gestão hídrica e melhorar o desempenho do sistema. Sousa Júnior (2013) constatou que a redução da produção de sedimentos na água bruta diminuiria os custos de tratamento da água em quase R\$ 12,2 milhões por ano, nas bacias hidrográficas que abastecem a Grande São Paulo, incluindo o Cantareira. Kroeger et al. (2017) estimaram que a proteção e restauração das florestas em 5% (640 ha) da bacia hidrográfica que supre a cidade de Camboriú reduziriam em 23% as concentrações de sólidos suspensos e diminuiriam os custos de dragagem e tratamento da água potável em R\$ 640 mil por ano.

Disponibilidade hídrica: Sabemos que terras saudáveis ajudam a controlar o ritmo e os fluxos de água de modo a melhorar a segurança hídrica nos climas sazonais. Em geral, as florestas têm capacidade de absorver e conservar água durante as chuvas, liberando-a lentamente durante períodos de seca, o que costuma ser chamado “efeito esponja”. Além disso, as florestas de altitude encontradas ao longo das montanhas costeiras da região sudeste do Brasil possuem uma habilidade única de gerar água no solo a partir da captação foliar da neblina, coletando gotículas de água que escorrem para o solo e que, não fossem essas árvores, permaneceriam na atmosfera. A literatura identifica que essa modalidade de captação pode representar até 30% da disponibilidade hídrica anual nas chamadas florestas úmidas de altitude (Ellison et al. 2017), embora esse fenômeno não seja bem estudado no Brasil.

BOX 1 | OS MUITOS BENEFÍCIOS POTENCIAIS DO INVESTIMENTO NA INFRAESTRUTURA NATURAL

Embora este relatório se concentre na estimativa de custos e benefícios do investimento em infraestrutura natural para o setor hídrico, intervenções de conservação da floresta e restauração podem gerar inúmeros benefícios ambientais, sociais e econômicos que poderiam ser levados em conta para uma análise completa da relação custo-benefício. Alguns desses benefícios são:

Mitigação das mudanças climáticas por meio do sequestro de carbono: Proteger e restaurar florestas evita emissões de gases de efeito estufa e sequestra carbono. As compensações voluntárias das emissões de carbono pelas empresas são um dos mecanismos complementares de estímulo ao investimento para se obter e melhorar esse benefício agregado.

Aumento da resiliência das comunidades às mudanças climáticas: A adaptação com base em ecossistemas é um dos objetivos do Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA) no Brasil. Melhorar a saúde da bacia hidrográfica contribui para esse objetivo, especialmente no caso das pessoas cujos meios de subsistência estão ligados a bens e serviços ecossistêmicos, como as comunidades rurais e os agricultores (Gírot 2013; FGB 2015).

Melhoria da saúde e do bem-estar humanos: Terras e bacias hidrográficas bem manejadas oferecem espaços para recreação e promovem um estado vibrante de bem-estar físico e mental, realização cultural e espiritual, e conexões sociais (Abell et al. 2017).

Melhoria das economias e meios de subsistência rurais: Investir na restauração pode gerar empregos e novos fluxos de capital mais sustentáveis para os proprietários rurais. Embora não exista uma estimativa atual do número de empregos que poderiam ser criados para restauração e manejo da infraestrutura natural do Cantareira, há razões para crer que esses benefícios poderão ser significativos. Por exemplo, o Instituto Escolhas (2016) estima que o compromisso do Brasil de restaurar 12 milhões de hectares de florestas até 2030 possa criar 138.000–215.000 postos de trabalho.

Produtividade no campo: A erosão do solo não só produz impacto negativo na qualidade da água, mas também ameaça a produtividade dos agricultores; a conservação do solo pode ajudar. Os investimentos em infraestrutura natural podem ser delineados para melhorar a produtividade das pastagens e a receita líquida dos agricultores por meio da Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF), além de sistemas agroflorestais ou silvipastoris. Como parte de suas metas de contribuição nacional para o clima, o Brasil se comprometeu a recuperar a produtividade de 15 milhões de hectares de pastagens e a promover a 5 milhões de hectares em ILPF até 2030 (RFB 2015).

Conservação da biodiversidade: Proteger ou restaurar habitats naturais pode melhorar as condições e a conectividade da paisagem, deixando espaço para que as espécies selvagens circulem livremente. A conservação e a restauração das florestas contribuem para o atingimento das Metas de Aichi relacionadas às convenções de biodiversidade e para a implementação do Programa Nacional de Conservação das Espécies Ameaçadas de Extinção, o Pro-Espécies. O uso da infraestrutura natural para lidar com a poluição por sedimentos pode melhorar o habitat das espécies aquáticas e aumentar sobremaneira as zonas de refúgio e nidificação de polinizadores essenciais à agricultura.

Na bacia hidrográfica do Cantareira só restam 24% de mata nativa, e esta é muito fragmentada (Figura 2). Embora a taxa recente de desmatamento tenha diminuído acentuadamente para 0,2% ao ano nessa região (Hansen et al. 2013), outros 1.900 ha de floresta (2% da floresta existente) poderão se perder nos próximos 30 anos a persistirem esses ritmos. A perda dessas florestas poderá degradar ainda mais a quantidade e a qualidade da água e teria impacto em muitos outros importantes serviços ecossistêmicos (Box 1).

Importantes iniciativas têm reconhecido o papel da infraestrutura natural na gestão hídrica e seus cobenefícios, tomando medidas para implementar a restauração e a conservação da floresta como estratégia central para salvaguardar o Sistema Cantareira. Destaca-se o Fundo Água para São Paulo (antes chamado Movimento Água para São Paulo, ou MApSP), que faz parte da Coalizão Cidades pela Água e que visa atuar como um projeto guarda-chuva para as muitas iniciativas locais em saneamento na região. Liderado pela The Nature Conservancy (TNC), o Fundo Água para São Paulo tem como foco os esforços de implementação de infraestrutura natural nos sistemas de abastecimento de água Cantareira e Alto Tietê. Para o Sistema Cantareira, o fundo definiu uma meta de restauração de 9.650 ha e conservação de 25.000 ha de mata nativa em áreas prioritárias. Em 2013, a TNC elaborou metas para o Fundo de Água para São Paulo, visando reduzir em 50% a erosão, aumentar os fluxos hídricos na estação seca em 3% e reduzir a intensidade das inundações em 5 a 10% (TNC 2013). Essas metas estão sendo revisadas.

O Fundo está alinhado e integrado a diversos programas governamentais e não governamentais, entre os quais:

- **Programa Nascentes**, do governo do estado de São Paulo, que envolve 12 secretarias e coordena programas relevantes de agências municipais e estaduais para a restauração de terras e águas (SMA 2015a, 2017). A meta é otimizar e direcionar os recursos públicos e privados para a restauração de áreas prioritárias degradadas. O programa permite que as empresas identifiquem projetos que correspondam às suas obrigações de compensação e estabeleceu um sistema de pontuação ponderada para atribuir valor aos projetos com base no valor dos seus serviços

ecossistêmicos (Estado de São Paulo 2014). O Programa Nascentes conta com 11 mil hectares em processo de restauração em 227 municípios paulistas, tendo como meta restaurar cerca de 20.000 nascentes, embora não haja metas específicas para o Cantareira (SMA 2017).

- Os **Comitês da bacia PCJ** (federais, estado de São Paulo e estado de Minas Gerais) são responsáveis pelo planejamento da bacia hidrográfica, pela mediação de conflitos sobre recursos hídricos e pela definição de mecanismos de cobrança pelo uso da água (PCJ 2015). Historicamente, os comitês da bacia PCJ investem cerca de 2% dos seus recursos na restauração da floresta como infraestrutura natural (Padovezi et al. 2012). Outros comitês de bacias da região, como o comitê do Alto Tietê, têm capacidade para investir na restauração da floresta como infraestrutura natural, mas ainda não o fizeram.
- O **Programa Produtor de Água de Extrema** é liderado por um município na área a montante do Cantareira (Extrema, Minas Gerais). Criado em 2005, é um dos programas de infraestrutura natural mais maduros e bem conhecidos no Brasil e no mundo (ANA 2016b). Até 2016, o programa havia restaurado 216 ha, conservando 6.378 ha e envolvendo 224 produtores rurais (Extrema 2017). O município destina aproximadamente 3% do seu orçamento para apoio aos esforços de implementação de infraestrutura natural, demonstrando o grande comprometimento da comunidade local.
- Os **Programas Produtores de Água das Bacias PCJ** em Joanópolis e Nazaré Paulista já restauraram 68 ha de florestas e preservaram mais de 321 ha (ANA 2016).

Coletivamente, esses programas implementaram estratégias de infraestrutura natural em cerca de 1.268 ha no Sistema Cantareira na vizinha Bacia do Alto Tietê (TNC 2013; SMA 2015a). Para alcançar esses resultados, os programas levantaram fundos de R\$ 25 milhões; os recursos foram destinados principalmente para restaurar a floresta e pagar aos proprietários de terras o serviços ecossistêmicos em programas de PSA.

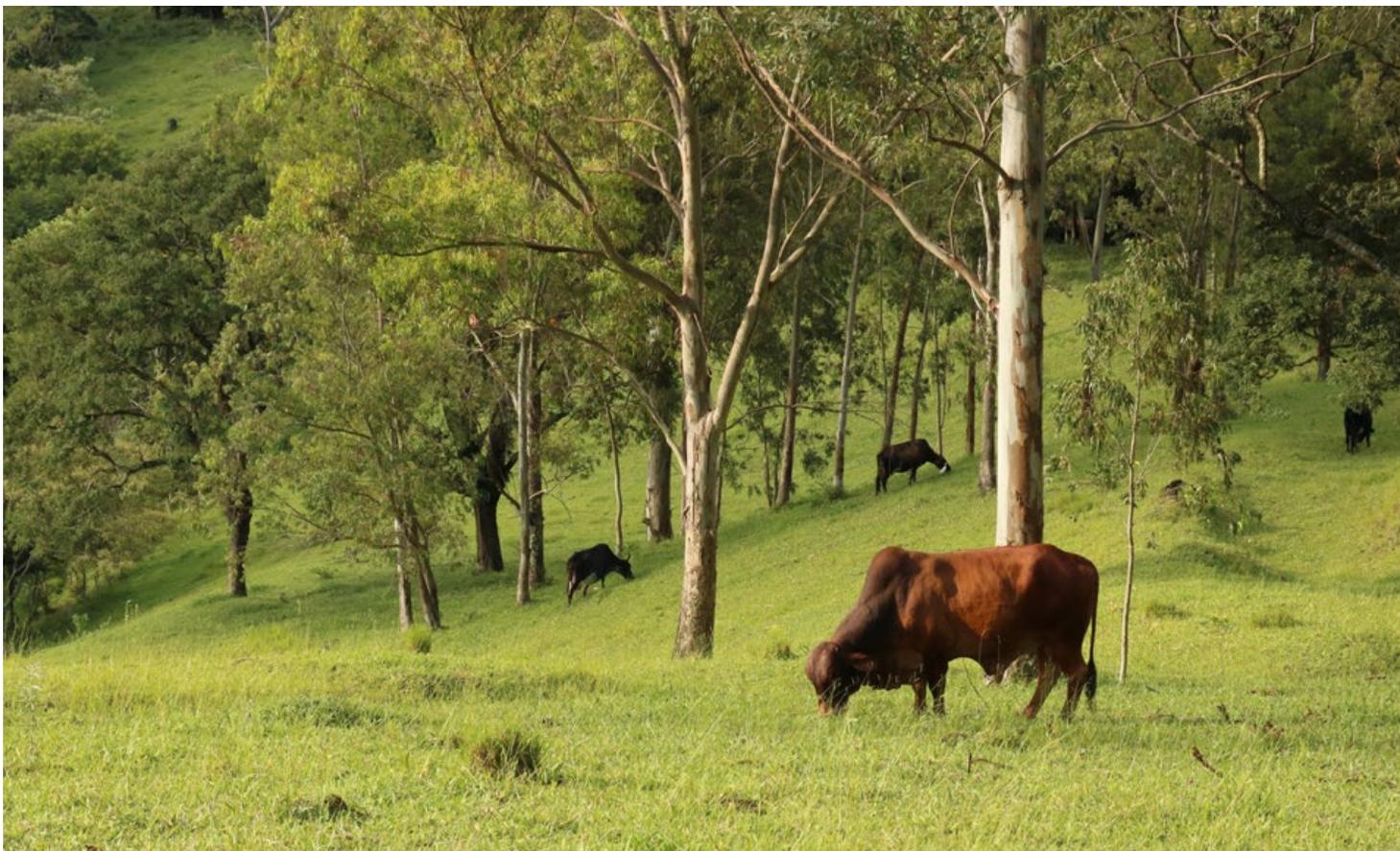
Esses primeiros sucessos e experiências serão cruciais para o futuro crescimento. Passando da etapa-piloto à escala, os operadores de programas

manifestaram interesse em aumentar e diversificar suas fontes de recursos financeiros para expandir as atividades e alcançar resultados mais expressivos. Reconhecendo que os gestores de recursos hídricos têm tudo para se beneficiarem com o aumento dos esforços de implementação da infraestrutura natural, a TNC e seus parceiros acreditam que a Sabesp e os comitês de bacias hidrográficas sejam os parceiros naturais para aumentar a escala das operações de restauração hídrica.

Também há esforços de implementação de infraestrutura natural ocorrendo fora do Fundo de Água para São Paulo. Como exemplo, a Sabesp reflorestou quase 1.200 ha de matas adjacentes aos seus reservatórios do Cantareira e disponibilizou outros 880 ha para restauração por organizações não governamentais (ONGs) ou empresas privadas (Sabesp 2017). Essas medidas visaram especialmente à proteção do manancial contra a ocupação ilegal, funcionando como uma barreira verde cuja externalidade positiva é também a de evitar erosão. Não está claro se a Sabesp aceitaria a ideia de colaborar com o Fundo de Água para São Paulo para implementar um processo de restauração no nível da paisagem como parte de sua estratégia de gestão hídrica.

Para que o Fundo possa aumentar a escala de seus projetos em todo o Sistema Cantareira, algumas perguntas sobre o papel da infraestrutura natural na gestão hídrica necessitam de resposta:

- Em que medida a conservação da floresta ou a restauração como estratégia de infraestrutura natural ajudariam a enfrentar os desafios da gestão hídrica?
- Quanto deveria ser investido para implementar uma estratégia efetiva de infraestrutura natural?
- Que arranjo de infraestrutura natural tem melhor relação custo-efetividade ou poderia melhorar o modelo de investimento para a Sabesp ou os comitês de bacias hidrográficas?
- Quais são trade-offs ou limitações da estratégia de infraestrutura natural das quais os gestores de recursos hídricos devem estar cientes?
- Quais são as principais fontes de incerteza a serem gerenciadas para melhorar a confiança no modelo de negócios e levar à ação?
- Que condições gerenciais, sociais, legais e financeiras têm impacto importante no modelo de negócios e no desempenho dos projetos de infraestrutura natural?





CAPÍTULO II

ANÁLISE DE INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA NATURAL PARA CONTROLE DE SEDIMENTOS

Este capítulo apresenta os principais resultados de uma avaliação destinada a embasar investimentos em infraestrutura natural para a gestão de recursos hídricos. Contém um resumo dos portfólios de investimento que avaliamos, os resultados biofísicos estimados de cada portfólio e o desempenho financeiro. Destaca também diversas informações extraídas da análise que poderão orientar o esboço de programas de infraestrutura natural e fundamentar decisões de investimento.

Para avaliar o desempenho financeiro das alternativas de investimento em infraestrutura natural, aplicamos o método de Análise de Investimento em Infraestrutura Natural (Green-Gray Assessment, em inglês), desenvolvido pelo WRI. Trata-se de um método conceitual que analisa como a infraestrutura natural (*verde/green*) pode auxiliar e complementar a infraestrutura convencional (*gray*) para produzir bens e serviços (Talberth et al. 2013; Gray et al. 2014; Gray et al. no prelo) (Figura 3).

Neste caso, conduzimos uma análise financeira comparando diferentes cenários de investimento em infraestrutura natural para gerenciamento de sedimentos no Sistema Cantareira. Cada etapa do Green-Gray Assessment é resumida a seguir e discutida mais detalhadamente ao longo do capítulo:

- **Definição do objetivo do investimento:** definiu-se como objetivo maximizar o retorno sobre o investimento no controle de sedimentos e estratégias de tratamento da água e investir em restauração por um período de 30 anos, o que reflete o padrão típico de tomada de decisões na gestão de recursos hídricos.
- **Especificação dos cenários investimento:** definimos cenários de investimento como uma ou mais atividades que se combinam para alcançar o objetivo de

investimento. Em conjunto com atores-chave consultados, elaboramos metas realistas para a restauração e a conservação da mata nativa na bacia hidrográfica e identificamos um cronograma de implementação razoável com base nas recomendações dos representantes de programas locais de infraestrutura natural. Usamos o modelo InVEST Sediment Yield para identificar áreas adequadas para essas intervenções (Sharp et al. 2016; ver mais informações no Apêndice B).

- **Estimativa de resultados biofísicos:** usamos o modelo InVEST Sediment Yield para estimar as taxas de produção de sedimentos em cada portfólio. Em seguida, convertimos essas taxas de produção de sedimentos em medidas de qualidade da água e volumes de sedimentos retidos em reservatórios assoreados.
- **Valoração de custos e benefícios:** calculamos os custos totais para cada portfólio de investimentos. Consideramos investimento inicial (*upfront*), custos operacionais e de manutenção da restauração (O&M), custos de transação e custos de oportunidade da terra. Também calculamos os custos evitados potenciais em cada cenário (ou seja, os benefícios) em termos de custos de tratamento de água, evitando a dragagem e a depreciação dos equipamentos.

Figura 3 | As seis etapas do método Green-Gray Assessment do WRI



Nota: Gray et al. no prelo.



- **Avaliação do desempenho financeiro:** aplicando uma taxa de desconto de 9%, que reflete o custo médio ponderado de capital para a Sabesp, examinamos e comparamos o desempenho de cada portfólio de investimentos em termos de valor presente líquido (VPL), Retorno sobre o Investimento (ROI), tempo de retorno do investimento (payback) e Taxa Interna de Retorno (TIR).
- **Análise de risco:** Para atender aos interesses de diversos investidores públicos e privados do setor hídrico, variamos a taxa de desconto de 5 a 12%, levando em conta o risco Brasil. Avaliamos a sensibilidade dos nossos resultados a algumas das variáveis mais relevantes, incluindo a eficiência de retenção de sedimentos prestados pela mata nativa, o custo de oportunidade da terra e os custos de restauração. Finalmente, examinamos qual seria o desempenho dos cenários de investimentos na hipótese de aumento de chuvas pesadas em função das mudanças climáticas.

Os dados necessários para conduzir a análise com acuidade foram obtidos por extensa revisão da literatura, entrevistas com atores-chave locais, incluindo membros dos comitês de bacias hidrográficas, engenheiros, pesquisadores acadêmicos, operadores e diretores financeiros de empresas de saneamento, gestores públicos, investidores em restauração florestal, ONGs envolvidas em restauração e gerentes de programas da bacia hidrográfica da região, conforme detalhado no apêndice.

Uma vez que as atuais estratégias de controle de sedimentos empregadas pela Sabesp incluem processos convencionais de tratamento da água – coagulação, floculação, decantação e filtração – e é a companhia responsável pelo Cantareira, comparamos os custos de investimento em infraestrutura natural e os benefícios por ela gerados em termos de custos evitados com a infraestrutura convencional adotada pela companhia. Avaliamos, assim, como os serviços de filtragem das florestas restauradas poderiam reduzir os custos evitados no tratamento da turbidez, da dragagem equivalente dos reservatórios e da depreciação de equipamentos.

Portfólios (Cenários) de investimento

Por meio de recorrentes consultas e entrevistas com atores-chave, identificamos as estratégias de infraestrutura natural julgadas pertinentes e que poderiam complementar os sistemas convencionais de gestão de recursos hídricos, desenvolvendo um cenário de referência e outro de investimentos alternativos para cálculo dos custos e benefícios da restauração sobre a manutenção do sistema puramente convencional.

Em ambos os portfólios, nossa premissa foi de que a demanda por água irá aumentar conforme estimado pelo Departamento de Água e Energia Elétrica DAEE (2013). Na falta de dados suficientes sobre as mudanças projetadas no uso da terra e sobre os impactos locais das mudanças climáticas, consideramos que essas condições permaneceriam constantes durante 30 anos – tempo de avaliação

do projeto – embora essas tendências sejam levadas em conta na análise de sensibilidade mais adiante. Os cenários analisados são apresentados na Tabela 1.

A restauração florestal pode reduzir em 36% o carreamento de sedimentos

A restauração diminui a erosão do solo, mas sua eficiência dependerá de condições específicas (Figura 4). Isso ocorre porque variam os fatores biofísicos que influenciam a taxa de exportação de sedimentos, como tipo de solo, declividade, vertente, e proximidade com a superfície dos cursos d'água. De acordo com o nosso modelo, 227.000 toneladas de sedimentos são exportadas anualmente através da bacia hidrográfica. A restauração de 4.000 ha de pastagens distribuídos aleatoriamente na bacia poderia evitar 8% da exportação total de sedimentos. No entanto, se esses mesmos 4.000 ha fossem

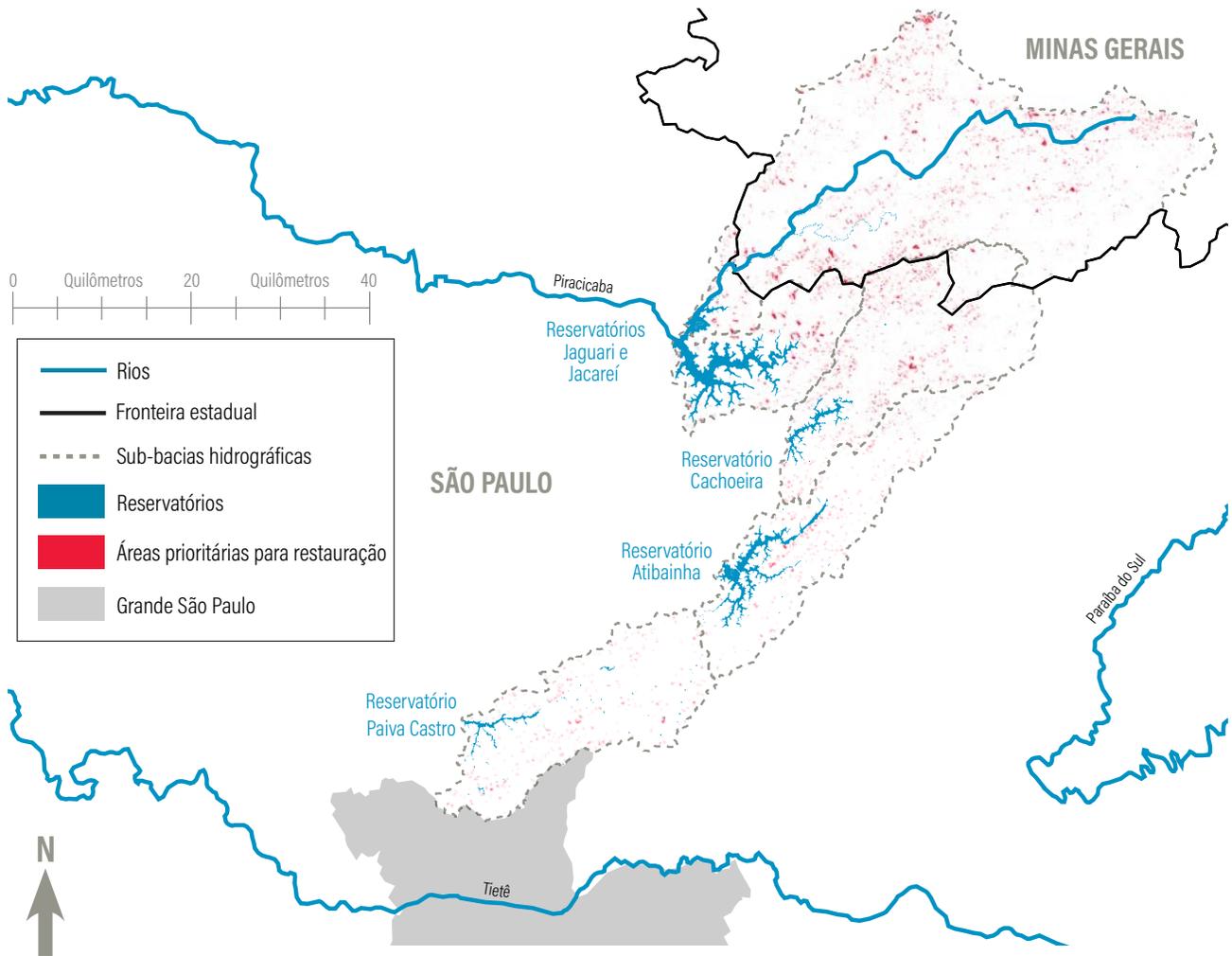
Tabela 1 | Cenários de referência e alternativos construídos para o Green-Gray Assessment

PORTFÓLIO DE INVESTIMENTOS	DESCRIÇÃO E PREMISSAS
Cenário de referência	<p>Investimentos em infraestrutura convencional são mantidos: não são feitos investimentos em tecnologias de infraestrutura de controle de sedimentos diferentes das existentes atualmente.</p> <ul style="list-style-type: none">■ A operação e a manutenção dos seis reservatórios de abastecimento de água do Sistema Cantareira não mudam (Jaguari, Jacaréí, Cachoeira, Atibainha, Paiva Castro e Águas Claras).■ Custos relativos de Operação e Manutenção da ETA Guaraú se mantêm constantes (R\$/m³ de água tratada e R\$/tonelada de sedimento).■ Não há investimentos em proteção ou restauração de florestas; não há perda ou ganho de florestas ou áreas naturais (a cobertura florestal permanece constante).
R4000	<p>Restauração florestal para infraestrutura natural (4.000 ha)</p> <ul style="list-style-type: none">■ Ocorre exclusivamente em substituição a pastagens: com as maiores taxas de produção de sedimentos. As estimativas de carreamento de sedimentos bem como o ranqueamento das áreas foram feitos com uso do software InVEST Sediment Yield Model. (Detalhes no Apêndice B). Restauração de 4.000 ha. Inspirada no Programa Nascentes, cuja meta é restaurar 20.000 ha de matas ripárias em todo o Estado (SMA 2017), atores-chave indicaram que 4.000 ha de restauração seria uma meta razoável para a região do Cantareira (Carrasco von Glehn 2017; Bracale 2017; Porto 2017).■ Tipo de restauração implementada: 25% das áreas prioritárias poderiam ser restauradas por regeneração natural (restauração florestal passiva) e 75% por restauração com plantio total. Proporção definida por sobreposição de mapas temáticos conforme detalhado no Apêndice.■ Sobreposição com áreas de preservação permanente: 45% das áreas prioritárias são restauradas em Áreas de Preservação Permanente (APPs). Proporção definida por sobreposição de mapas temáticos conforme detalhado no Apêndice.■ Sequência de implementação: restauração implantada em 10 anos, de acordo com o cronograma desenvolvido pelo TNC (2013), conforme Apêndice.

Nota: Para o R4000, consideramos que a restauração ocorreria nos primeiros 10 anos com outros 3 de manutenção, avaliando os custos e benefícios resultantes ao longo de 30 anos.

Fonte: Autores.

Figura 4 | Exportação de sedimentos no Sistema Cantareira



Nota: Áreas de pastagem com as mais altas taxas de susceptibilidade à erosão a serem restauradas no cenário R4000.
Fonte: InVEST Sediment Yield Model (Sharp et al. 2016; ver Apêndice B).



restaurados nas pastagens com as mais altas taxas de susceptibilidade à erosão, o percentual da exportação evitado poderia chegar a 36% (Tabela 2).

Os resultados dos modelos biofísicos para redução de sedimentos e alterações previstas nos níveis de turbidez do sistema são apresentados na Tabela 2. No cenário de referência, 227.000 toneladas de sedimentos são produzidas por ano, resultando um total de 6,8 milhões de toneladas de solo perdidas em 30 anos. Considerando que apenas 3% do sedimento carregado para o sistema hídrico chega à estação de tratamento — o restante depositado no complexo de 6 reservatórios (Sousa Júnior 2011; Apêndice C) —, estimamos que a turbidez média da água bruta é de cerca de 7,9 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), valor muito próximo aos observados pela CETESB, agência ambiental do estado de São Paulo (Moreno et al. 2014).

Constatamos que a restauração de 4.000 hectares (R4000) poderia reduzir a turbidez média na estação de tratamento de água de 7,9 para 4,0 UNT.

Uma ressalva importante é que esse modelo representa a alteração de apenas uma fonte de sedimentos (perda de solo). Embora isso possa subestimar a redução do carregamento de solo e sedimentos aos cursos d'água, os resultados do modelo dão uma ideia preliminar da magnitude de mudança possível com uma estratégia de restauração. O Apêndice B contém detalhes dos resultados do

Tabela 2 | [Impacto da restauração na produção de sedimentos e turbidez](#)

RESULTADO BIOFÍSICO	CENÁRIO DE REFERÊNCIA	R4000	ALTERAÇÃO
Produção de sedimentos (entrada total no sistema, em toneladas, ao longo de 30 anos)	6.797.561	4.382.372	-36%
Nível de turbidez (UNT) no ano 30	7,9	4,0	-49%

Fonte: Autores.

modelo e uma discussão sobre as incertezas da modelagem.

Nesse contexto, Poorter et al. (2016) estimaram em 44 anos o tempo necessário para que uma floresta tropical restaurada, incluindo a Mata Atlântica, no Brasil, recupere plenamente sua estrutura. Com base nessa estimativa, consideramos que os serviços de controle de erosão evoluirão segundo uma trajetória do tipo “curva-S” e não irão se estabilizar (alcançar 100% do seu potencial) até o 44º ano. Os benefícios da infraestrutura natural continuam a se acumular além do horizonte típico dos projetos de gestão de recursos hídricos de 30 anos. Alguns estudos constataram que os serviços de controle de sedimentos podem ser alcançados muito antes disso, e atores-chave também destacaram evidências de controle de erosão muito mais precoce em florestas restauradas, segundo suas próprias experiências, o que sugere que o desempenho da restauração pode ser muito maior do que o considerado aqui, sendo nossas estimativas conservadoras.

Desempenho financeiro das estratégias de infraestrutura natural e convencionais

Para compreender o impacto financeiro da infraestrutura natural, precisamos, primeiramente, estimar os custos de referência no controle de sedimentos, em termo de:

- **Tratamento da água**, o que envolve remover a turbidez da água de abastecimento por meio de várias tecnologias, como coagulação, floculação e remoção de lodo.
- **Dragagem**, que se refere à retirada de sedimentos depositados no reservatório e que precisam ser removidos periodicamente para manter a capacidade de armazenamento de água, recuperando ou minimizando os impactos de assoreamento.
- **Depreciação de equipamentos**, trata o processo natural pelo qual os equipamentos se desgastam e precisam ser substituídos. A presença de menores concentrações de sedimentos no sistema reduz o desgaste dos equipamentos da empresa de saneamento, prolongando sua vida útil e diminuindo a necessidade de reparos, substituições e reforma da infraestrutura.

O controle de sedimentos no Sistema Cantareira custa atualmente cerca de R\$ 70 milhões por ano

Utilizando modelos de regressão baseados nos dados trimestrais agregados de relatórios financeiros que cobrem 16 anos (detalhados no Apêndice C), estimamos que os custos operacionais do tratamento da água na Grande São Paulo sejam cerca de R\$ 1,4/m³. Após entrevistas com as principais partes interessadas e revisão da literatura, estimamos em R\$ 0,055/m³ o valor base dos custos de tratamento da água resultantes dos atuais níveis de turbidez; esse valor significa 3,9% dos custos operacionais totais.

Os custos de dragagem de todos os seis reservatórios (incluindo maquinário, mão de obra e descarte do lodo) foram estimados em R\$ 32,4/m³ de sedimento retirado, em média, ou R\$ 16,3 por tonelada (Sousa Júnior 2011; Hespanhol 2017), e estimamos a depreciação em R\$ 0,0003/m³/ano (Sampaio 2017). O Apêndice C apresenta a composição dos custos unitários usados nesses cálculos.

Os custos totais do tratamento da água no caso de referência foram estimados em cerca de R\$ 68,8 milhões por ano, enquanto os custos de dragagem foram calculados como R\$ 10,9 milhões por ano (se ocorrerem anualmente) e a depreciação em R\$ 4,2 milhão por ano. O somatório é cerca de R\$ 84,8 milhões por ano para atender a uma demanda média de água de 30,01 m³/s. Para calcular esses custos do tratamento da água na estação de tratamento, consideramos uma demanda crescente por água à taxa anual de 0,3%, com base em projeções do Departamento de Água e Energia Elétrica do estado de São Paulo (DAEE 2013).

A restauração florestal requer um investimento de R\$ 119 milhões em 10 anos

Para determinar o custo de implementação de cada portfólio de investimentos em infraestrutura verde, consideramos vários componentes do custo:

- **Custos de implementação da infraestrutura natural**, que incluem todos os investimentos necessários para iniciar a restauração, incluindo mudas, insumos químicos, mão de obra e construção de cercas para impedir a invasão pelo gado.

- **Custos de operação e manutenção**, que incluem todas as despesas necessárias para promover os processos de restauração ao longo do tempo e minimizar a mortalidade das mudas/falhas ecológicas. Com base nas recomendações da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (Carrascosa von Glehn 2017, SMA 2013), consideramos que esses custos de O&M incidem anualmente por três anos após a restauração. Também consideramos que os reparos em cercas ocorrem a cada 14 anos após a restauração, já que a SMA (2013) estima em 5% ao ano, aproximadamente, a depreciação normal das cercas.
- **Custos de transação**, que são despesas incorridas para envolver os proprietários de terras nos projetos de restauração, delinear e monitorar o programa, e administrar contratos e pagamentos. Consideramos que esses custos chegam a 20% dos custos totais do programa, com base em entrevistas e consultas a especialistas da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e em estudos semelhantes na região.
- **Custos de oportunidade da terra**, que representam a média dos rendimentos obtidos na pecuária e que deixam de ser ganhos ao se optar pela restauração florestal das pastagens. Para convencer os proprietários de terras a implementarem uma estratégia de infraestrutura natural, o investidor precisa alcançar ou ultrapassar o custo de oportunidade. Neste estudo, consideramos que o custo de oportunidade seria o valor de aluguel da pastagem, em média R\$ 550/ha por ano. Consideramos que o pagamento que cobre esse custo de oportunidade é feito anualmente, ao longo dos 30 anos. Consideramos, também, que toda restauração em APPs tem custo de oportunidade zero, já que não existe uma alternativa legal para atividade nessas áreas. Para examinar os diversos modelos de estimativa do custo de oportunidade da terra, incluindo das áreas de APP, utilizamos premissas alternativas na análise de sensibilidade apresentada adiante, neste capítulo.

O custo total da restauração foi estimado em R\$ 119 milhões para o portfólio R4000 (Tabela 3).

Tabela 3 | Custos estimados para restauração

	RESTAURAÇÃO ASSISTIDA (PLANTIO TOTAL) (R\$/HA)	REGENERAÇÃO NATURAL (R\$/HA)	R4000 (R\$ 1000)
INVESTIMENTOS EM RESTAURAÇÃO ASSISTIDA (75% DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS)			
Cercamento	3.290	N/A	9.894
Preparação do solo	349	N/A	1.050
Controle de formigas	118	N/A	358
Correção e adubação do solo	448	N/A	1.350
Transporte de mudas	51	N/A	150
Mudas	2.336	N/A	7.030
Implantação das mudas	1.040	N/A	3.133
Irrigação	896	N/A	2.698
Mão de obra	2.192	N/A	6.819
TOTAL	10.720	N/A	32.483
INVESTIMENTOS EM REGENERAÇÃO NATURAL (25% DAS ÁREAS PRIORITÁRIAS)			
Cercas e mão de obra	N/A	3.522	3.232
TOTAL	N/A	3.522	3.232
CUSTOS OPERACIONAIS E MANUTENÇÃO, RESTAURAÇÃO ASSISTIDA (3 ANOS)			
Controle de formiga	1.133	N/A	3.411
Coroamento das mudas	3.827	N/A	11.514
Replanteio (mudas, transporte e plantio)	1.347	N/A	4.051
Reparo de cercas (ano 15)	592	N/A	1.782
TOTAL	6.899	N/A	20.758
CUSTOS DE OPERAÇÕES E MANUTENÇÃO, REGENERAÇÃO NATURAL			
Reparo de cercas (ano 15)	N/A	2.633	2.611
TOTAL	N/A	2.633	2.611
CUSTOS DE TRANSAÇÃO			
Custos de transação	4.791	4.090	15.968
TOTAL	4.791	4.090	15.968
CUSTO DE OPORTUNIDADE DA TERRA			
APPs (44,5% das áreas prioritárias)	0	0	0
Outras áreas (55,5% das áreas prioritárias)	19.821	19.821	44.003
TOTAL	19.821	19.821	44.003
CUSTOS TOTAIS (VALORES DE 2017)	42.231	30.067	119.056

Fonte: Autores.

A economia com controle de sedimentos no R4000 é significativa

Constatamos que o R4000 evitaria custos de R\$ 338 milhões para controle de sedimentos em 30 anos (Tabela 4; Figura 5). O maior fator de custos

evitados está relacionado ao tratamento da água; com o R4000, a redução estimada da turbidez na estação de tratamento de água poderia resultar em uma economia anual de 14%. Os métodos para cálculo desses custos evitados são explicados em detalhe no Apêndice C.

Tabela 4 | Turbidez média da água e custos de gerenciamento relacionados em 30 anos (valor presente)

	CENÁRIO DE REFERÊNCIA	R4000	ECONOMIAS	% VARIAÇÃO
Turbidez média da água bruta na estação de tratamento (UNT)	7,9	4,0	N/A	49
CUSTOS DE TRATAMENTO DA ÁGUA (R\$, MILHÕES)				
Mão de obra	978,4	861,5	116,9	12
Produtos químicos	249,9	176,5	73,4	29
Reposição de areia (10% por ano)	3,8	2,7	1,1	30
Reposição de antracito (10% por ano)	180,3	173,1	7,2	4
Retirada e limpeza de lodo	110,9	71,8	39,2	35
Energia	565	507,4	57,6	10
TOTAL	2.088,2	1.792,9	295,4	14
CUSTOS DE DRAGAGEM (R\$, MILHÕES)				
Mão de obra	5,6	5,2	0,5	8
Maquinário	294,5	261,6	32,9	11
Descarte	28	23,2	4,8	17
TOTAL	328,2	290	38,2	12
DEPRECIÇÃO TOTAL (R\$, MILHÕES)				
Depreciação dos equipamentos	131,3	126,7	4,6	3
TOTAL	131,3	126,7	4,6	3
CUSTOS TOTAIS (R\$, MILHÕES)	2.547,7	2.209,5	338,1	13

Fonte: Autores.



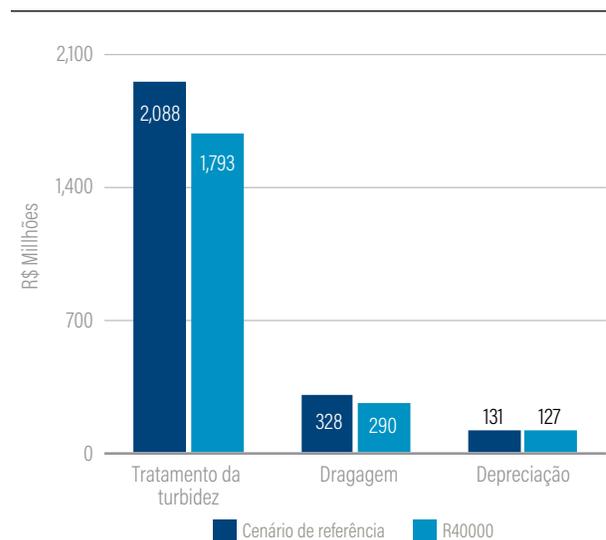
Os custos de produtos químicos são muito sensíveis às variações nos níveis de turbidez. Enquanto os custos estimados no cenário de referência são de R\$ 0,224/m³ de água tratada, no R4000 os valores caem para uma média ponderada de R\$ 0,0128/m³ de água tratada (Figura 6). Outros custos de tratamento da água são diretamente proporcionais ao nível de sólidos suspensos na água.

Diferentemente da relação não linear entre turbidez e tratamento da água, os custos de dragagem são proporcionais à quantidade total de sedimentos depositados nos reservatórios. Quanto menos assoreados os reservatórios, menores são os custos de dragagem para manter a capacidade de armazenamento de água. O R4000 diminui em 12% os custos de dragagem.

A depreciação, por outro lado, está relacionada à infraestrutura e aos equipamentos da estação de tratamento de água. Como a taxa de depreciação é cumulativa no tempo, à medida que o fluxo de sedimentos para a estação de tratamento diminui, a taxa se torna proporcionalmente menor. Neste

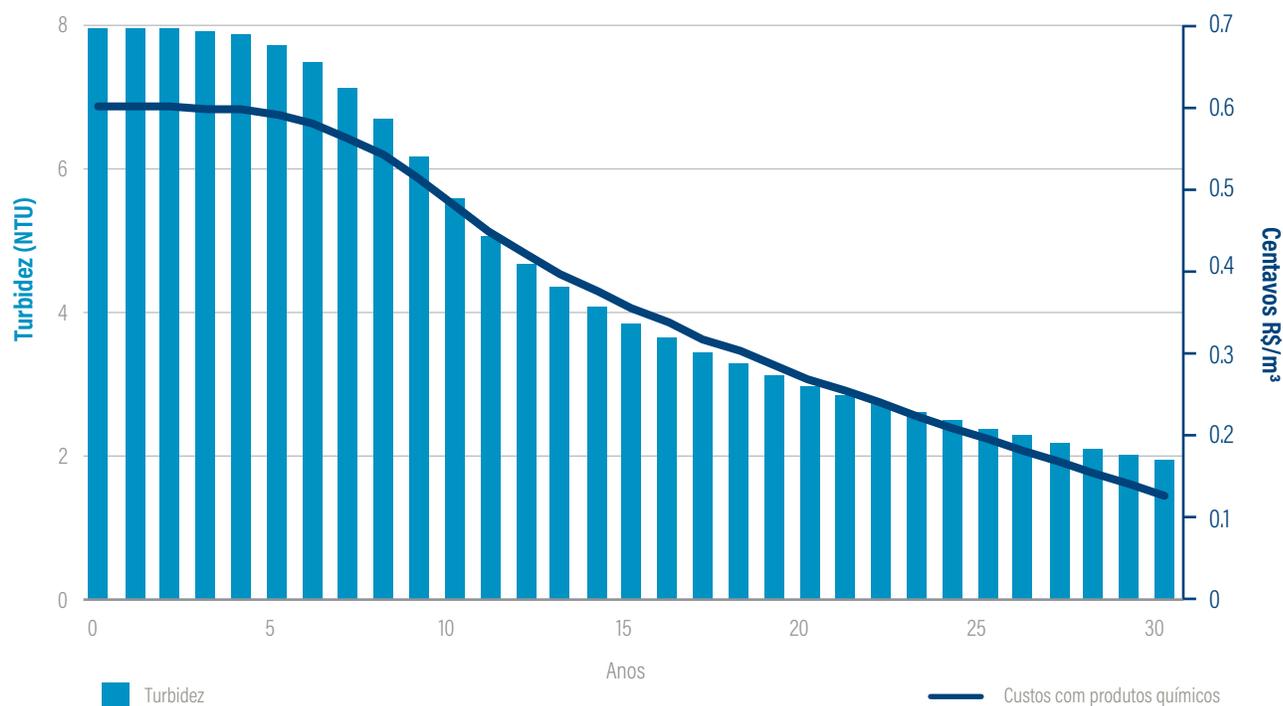
estudo, a depreciação é calculada apenas para os equipamentos diretamente afetados pelos sedimentos e pela turbidez. A economia total de depreciação é de 3,4%.

Figura 5 | Custos na gestão de sedimentos hídricos nos diferentes cenários de investimentos (R\$, milhões, horizonte de 30 anos)



Fonte: Autores.

Figura 6 | Turbidez estimada e custos de produtos químicos por ano nos diferentes portfólios de investimentos



Nota: O custo dos produtos químicos diminui em uma relação não linear, de acordo com equação logarítmica, detalhada no Apêndice C.

Fonte: Autores.

Análise de sensibilidade

Aplicamos uma análise de sensibilidade para lidar com as incertezas, variando um parâmetro de cada vez a fim de medir seu impacto no desempenho financeiro total do projeto (Ittelson 2009; Assaf Neto 2010). As três maiores fontes de incerteza foram os custos de restauração, os custos de oportunidade nas APPs e o nível de redução dos sedimentos.

Também variamos a taxa de desconto. Embora nossa taxa de desconto de referência seja de 9%, por representar o WACC da Sabesp, usado inclusive para revisão tarifária, também consideramos um cenário de baixo risco, utilizando uma taxa social de desconto de 5% (Lopez, 2011), e um “cenário de alto risco”, com 12%, em que o Risco Brasil é adicionado ao WACC. O Apêndice C fornece mais informações sobre a análise de sensibilidade e resultados completos.

A Tabela 5 mostra que a incerteza dessas variáveis pode acarretar algum risco ao desempenho financeiro do R4000.

Para compreender o impacto da retenção de sedimentos no desempenho financeiro do R4000, conduzimos, inicialmente, uma análise estatística (simulação de Monte Carlo) baseada nas faixas de resultados prováveis do InVEST. Encontramos que em 95% das simulações a retenção de sedimentos variou de 20 a 43%. Tomando como premissa a menor eficiência na retenção de sedimentos, o período de payback do R4000 é de 57 anos, com perdas de R\$ 18,9 milhões até o ano 30. Por outro lado, se o R4000 chegar ao limite superior da retenção de sedimentos esperada, o investimento teria payback em 20 anos, com VPL em torno de R\$ 33,9 milhões.

Quanto ao custo de restauração, estudos recentes avaliaram que a faixa mínima e máxima fica entre

Tabela 5 | Resultados da análise de sensibilidade do portfólio de investimentos R4000

PREMISSAS ALTERNATIVAS	DESCRIÇÃO	TIR (%)	PAYBACK (ANOS)	ROI (%)	VPL (R\$, MILHÕES)
Análise referencial (Benchmark) (taxa de desconto de 9%)		12	23	28	14,7
PRÊMIO DE RISCO AO INVESTIDOR E OPÇÕES DE FINANCIAMENTO					
taxa de desconto social de 5%		12	19	82	58,9
taxa de desconto de alto risco 12%		12	30	0,4	0,16
FATORES DE IMPLEMENTAÇÃO (TAXA DE DESCONTO DE 9%)					
APPs têm custos de oportunidade	Considera que as APPs precisam de incentivos econômicos para serem restauradas	11	26	14	8,3
O custo de restauração é 35% maior	Os custos de restauração assistida são os máximos encontrados na literatura para a Mata Atlântica	9	30	0,1	0,06
O custo de restauração é 51% menor	Os custos de restauração assistida são os mínimos encontrados na literatura para a Mata Atlântica	16	18	65	26,2
FATORES BIOFÍSICOS (TAXA DE DESCONTO DE 9%)					
Retenção de 20% dos sedimentos	Desempenho de retenção de sedimentos no limite inferior da curva normal (dentro de 2,5% dos menores valores)	4	57	-36	-18,9
Retenção de 43% dos sedimentos	Desempenho de retenção de sedimentos no limite superior da curva normal (dentro de 2,5% dos maiores valores)	15	19	65	33,9

Fonte: Autores.



os 51% menores e os 35% maiores que os levantados durante nossas consultas e entrevistas (Benini & Adandodato 2017). Mesmo utilizando o limite superior de 35% maior que os nossos, o R4000 ainda é financeiramente viável.

O R4000 mostra elevada sensibilidade ao risco intrínseco representado pelas taxas de desconto. No cenário de baixo risco representado pela taxa social de desconto de 5%, o VPL aumenta R\$ 44 milhões. Mesmo no cenário de maior risco, representado pela taxa de desconto de 12%, o projeto seria viável.

Gestores de recursos hídricos sempre enfrentaram incerteza e pode-se dizer que esses resultados estão dentro da faixa de normalidade. O Capítulo 4 discute alguns meios pelos quais o Fundo de Água para São Paulo e outros programas de infraestrutura natural podem lidar com essas fontes de incerteza de modo a reduzir a percepção de risco associado à infraestrutura natural e tornar o projeto mais atrativo, do ponto de vista financeiro, para gestores de recursos hídricos.

A conservação das florestas tem papel relevante

Nos tópicos anteriores, discutimos os custos e benefícios da restauração para controle de sedimentos, mas a conservação das florestas existentes também é relevante. O custo de se conservar é geralmente muito mais baixo que o custo de restauração (Soares-Filho et al. 2014) porque não são necessários os investimentos de implantação *upfront* (por exemplo, não são necessárias mudas nem mão de obra para o plantio de árvores) (Rodrigues et al. 2011). Ademais, a floresta madura já tem alta capacidade de oferecer serviços ecossistêmicos imediatos, como retenção de sedimentos, enquanto uma floresta restaurada precisa amadurecer até que se possa usufruir plenamente dos benefícios por ela gerados. A floresta intacta também pode reduzir o próprio custo de restauração por condicionar a regeneração natural. A conservação, portanto, complementa as atividades de restauração, melhorando, finalmente, os serviços de controle de sedimentos da infraestrutura natural na região.

Tabela 6 | Impacto da conservação da floresta nos sedimentos e na turbidez

RESULTADO BIOFÍSICO	D1900	C1900
Exportação de sedimentos (toneladas em 30 anos)	6.969.657	6.797.561
% de variação na exportação de sedimentos	+2,5%	0
Nível de turbidez (NTU) no ano 30	8,2	7,9
% de variação da turbidez no ano 30	+3,8%	n/a

Fonte: Autores.

O Sistema Cantareira não parece estar sob ameaça imediata de desmatamento, porque a maior parte da conversão da floresta ocorreu há décadas. A taxa de desmatamento no Cantareira nos últimos 16 anos, registrada por Hansen et al. (2013), foi menor que 0,1% por ano, enquanto pelo Mapbiomas (2018) de 0,13% ao ano (Mapbiomas, 2018). Projetando essas taxas, a bacia hidrográfica poderá perder de 1.900 a 2.300 ha de florestas em 30 anos (cerca de 2% da cobertura florestal existente).

No entanto, não há projeções robustas da futura cobertura florestal nessa região, por isso é difícil saber se as atuais tendências de mudança no uso da terra continuarão e que áreas estão mais ameaçadas e susceptíveis à conversão. Esse fator tem influência nas nossas estimativas dos possíveis impactos biofísicos e custos de conservação.

Analisamos dois cenários para estimar os custos e benefícios da conservação da floresta para o controle de sedimentos, nos quais em ambos as premissas relacionadas à infraestrutura convencional se mantiveram as mesmas, ou seja, condições dos reservatórios e da estação de tratamento de água operados e mantidos sem investimentos em infraestrutura que difira dos convencionais atualmente utilizados. Quanto à conservação da infraestrutura natural, lançamos mão de dois cenários:

- O cenário “Desmatamento” (**D1900**) pressupõe que 1.900 ha sejam perdidos em áreas com os maiores níveis de erosão potencial, a um ritmo constante de 0,1% por ano (com base na taxa histórica atual de perda florestal). Usamos o Modelo InVEST Sediment Yield para identificar essas áreas (ver detalhes no Apêndice B).
- O cenário “Conservação” (**C1900**) pressupõe que aqueles mesmos 1.900 ha sejam protegidos e conservados no ano 0, de modo que não haja perda de florestas previstas no cenário anterior D1900.

A Tabela 6 mostra os resultados biofísicos. Uma estratégia bem direcionada de conservação da floresta poderia evitar um aumento muito discreto da exportação de sedimentos. No cenário D1900, mais 172.000 toneladas de sedimentos entrariam no Sistema Cantareira em 30 anos, aumentando a turbidez em 3,8%, passando de 7,9 para 8,2 NTU. No mesmo período, os custos adicionais associados ao tratamento dessa turbidez poderiam resultar em uma redução de 1,1% do ROI para a Sabesp.

A floresta intacta também pode reduzir o custo de restauração porque dá sustentação à regeneração natural. Portanto, a conservação da floresta pode complementar as atividades de restauração, melhorando, finalmente, os serviços de controle de sedimentos da infraestrutura natural na região.

Tabela 7 | Desempenho financeiro dos portfólios de investimentos em conservação

INDICADORES FINANCEIROS DE DESEMPENHO	C1900 (R\$, MILHÕES)
CUSTOS EVITADOS	
Tratamento da água	48,6
Dragagem	2,9
Depreciação	1,6
TOTAL	53,1
CUSTOS DE CONSERVAÇÃO	
Investimentos (considerando que as áreas prioritárias já estejam protegidas por cercas)	0
Custo de oportunidade da terra (representado pelos valores pagos por serviços ecossistêmicos)	16,0
Custos de operações e manutenção (reparos em cercas, anos 0 e 15)	1,9
Custos de transação	4,8
TOTAL	22,7
Índice da análise de benefício-custo	2,4
Margem de benefício líquido	1,4
TIR (%)	11
VPL (R\$ MILHÕES)	1.3
Payback (anos)	26
ROI (%)	14
Benefício Líquido (R\$ mil)	30.400

Fonte: Autores.

Estimamos que o custo total de conservação dos 1.900 hectares seria de aproximadamente R\$ 22,4 milhões em 30 anos, dependendo das estratégias de conservação empregadas. Primeiramente, consideramos que já existem cercas protegendo as áreas prioritárias, e essas cercas só precisariam ser mantidas. Adotamos, também, custos de oportunidade de R\$ 280/ha/ano para a conservação da floresta, comparados a R\$ 550 para restauração. Esses custos refletem o valor dos pagamentos pelos serviços ecossistêmicos para conservação na região (TNC 2013). O custo de oportunidade de conservar a terra é menor que o de restaurar terras produtivas, já que as áreas desmatadas podem prontamente ser usadas como pastagem. (Ver detalhes dos dados de custos no Apêndice C.)

O C1900 apresenta uma justificativa razoável para investimento, com 14% de ROI e VPL positivo (Tabela 7). Esse investimento poderia gerar R\$ 53,1 milhões unicamente como benefício pela retenção de sedimentos. No entanto, o retorno financeiro é menor que o do R4000. Primeiramente, porque áreas com maior susceptibilidade à erosão já foram desmatadas, de modo que a restauração traria um enorme benefício adicional, enquanto as áreas atualmente cobertas por florestas estão sobre solos menos susceptíveis. A conversão dessas florestas traria um aporte de sedimentos por hectare desmatado proporcionalmente menor que a retenção adicional por hectare restaurado. Além disso, o investimento *upfront* para garantir a conservação ao longo dos 30 anos é apenas ligeiramente compensado pelos serviços ambientais fornecidos ao longo do horizonte de análise, descontados pela taxa de 9% ao ano.



Importante salientar que esta análise fornece uma ideia sucinta do valor da conservação da floresta com base em apenas um benefício potencial (controle de sedimentos), embora se saiba que as florestas prestam muitos serviços ecossistêmicos valiosos. Por exemplo, as florestas ajudam a mitigar o risco de inundações, fornecem sementes e condições de habitat que facilitam uma regeneração natural de baixo custo e regulam os fluxos hídricos sazonais (ver mais sobre esse benefício no Capítulo 3). As florestas intactas também oferecem habitat para espécies raras, oportunidades de atividades recreacionais e regulam os climas locais. A avaliação dos outros benefícios das florestas pode complementar este estudo e inspirar investidores preocupados com sustentabilidade.

São necessárias pesquisas adicionais para refinar esses resultados. Também são necessárias projeções robustas sobre o uso da terra para se compreender melhor a possível taxa de desmatamento e sua localização no Sistema Cantareira. Informações sobre o estado de conservação de áreas prioritárias também são necessárias para uma estimativa melhor do custo de conservação.

Como interpretar os resultados

A TIR de 12% para o R4000 e a TIR de 11% para o C1900 serviriam para atrair investimentos do setor hídrico brasileiro? O ROI das empresas de saneamento no Brasil é de 3% a 22% ao ano (Junqueira et al. 2017). Portanto, as opções de investimento em infraestrutura natural analisadas geram retorno dentro da faixa característica do setor hídrico no Brasil.

O ROI médio anual da Sabesp nas últimas duas décadas chegou a impressionantes 45%, mas esse resultado provém do agregado financeiro, com defasagens temporais de investimento e lucro tipicamente do setor. Ademais, não são separados por serviço prestado e região de atuação (MC 2015). Mesmo assim, o ROI de 45% apresenta grande eficiência financeira e competitividade no mercado, o que, por outro lado, não livra a companhia

de apresentar algumas fragilidades (como, por exemplo, durante a crise de abastecimento de água de 2015).

Dados os significativos benefícios que a infraestrutura natural pode gerar em apenas um dos objetivos da gestão de recursos hídricos, a empresa e suas agências associadas poderiam integrar a infraestrutura não tradicional como as florestas em seu planejamento a fim de aumentar o desempenho geral do sistema, principalmente sua resiliência, pois são justamente nos momentos de revés climático que as perdas financeiras se tornam evidentes.

A justificativa financeira para investir em restauração e conservação das florestas como infraestrutura natural é relevante também para outros tomadores de decisão. Os comitês de bacias hidrográficas podem destinar recursos à infraestrutura natural e podem usar os mapas e a análise financeira deste estudo para nortear tais investimentos. Além disso, este estudo constatou que restaurar a floresta para atender às exigências legais do Código Florestal e aos compromissos de NDC resulta em benefícios significativos para o setor hídrico, que poderia se tornar um parceiro mais ativo nos projetos de restauração.

Embora este capítulo tenha respondido por que, onde e como investir em infraestrutura natural para obter o benefício do controle de sedimentos no Cantareira, algumas questões permanecem em aberto para se avaliar plenamente a importância e a viabilidade dessa estratégia. Por exemplo, os gestores de recursos hídricos de São Paulo poderão hesitar em investir nessa oportunidade até que conheçam mais sobre o impacto da infraestrutura natural nos fluxos hídricos. Os gestores de recursos hídricos também poderão querer garantir, antes do investimento, que as estratégias de infraestrutura natural tenham riscos menores.

Essas duas questões são exploradas mais detalhadamente nos próximos capítulos.



CAPÍTULO III

EFEITO DA INFRAESTRUTURA NATURAL NOS FLUXOS HÍDRICOS SAZONAIS

Manter um abastecimento de água urbano confiável, sobretudo nas estações de seca, é a principal prioridade para muitas regiões metropolitanas, especialmente a de São Paulo. Tradicionalmente, os gestores de recursos hídricos suspeitam que o aumento da cobertura florestal pode reduzir a disponibilidade hídrica em função da evapotranspiração, o que dificulta a conciliação de investimentos em florestas e oferta de água. No entanto, alguns estudos têm indicado que a mata nativa saudável tem a possibilidade de ajudar a regular o ciclo e o fluxo hídrico, facilitando o gerenciamento sazonal desse recurso.

De modo geral, o conjunto de evidências utilizadas para determinar o impacto das florestas na disponibilidade hídrica da região é incompleto, complexo e ainda aberto à interpretação. São necessárias mais análises para determinar se a restauração ou conservação da floresta diminui ou aumenta o abastecimento de água do Cantareira. Mas alguns indícios já apontam para a direção de que aumentar a cobertura florestal é uma estratégia viável a ser considerada no manejo das bacias.

Este capítulo examina os vínculos entre florestas e fluxos de água sazonais e demonstra uma possível abordagem metodológica para se considerarem os impactos das florestas no abastecimento de água na estação seca. Nossa abordagem foi desenvolvida a partir de uma revisão da literatura e utilizando de um modelo de balanço hídrico, o modelo *Dynamic Water Balance*, focado na região de estudo (ver detalhes no Apêndice B). Analisamos o impacto da infraestrutura natural em dois importantes parâmetros hidrológicos:

- **Fluxo de base**, que ocorre durante o período de seca, quando as águas retidas no solo e lençol freático são liberadas lentamente, ao longo do tempo, para os cursos d'água. O fluxo de base é também conhecido como fluxo de estiagem, fluxo de seca ou fluxo sustentado. A infiltração de água no solo durante os meses de chuva aumenta o fluxo de base.
- **Fluxo total** (também chamado caudal) é o fluxo de água que inclui, além do fluxo de base, o fluxo rápido — que ocorre durante ou logo depois de chuvas e que aumenta a vazão dos cursos d'água em função da água superficial de enxurrada. Ele representa a descarga total no canal de corrente.

Ao utilizar esses modelos, verificamos que no portfólio R4000 a magnitude dos impactos positivos ou negativos provavelmente seria pequena e poderia melhorar ligeiramente os fluxos hídricos durante a estiagem, mas não impor uma mudança nas práticas de gestão de recursos hídricos. Estudos recentes constataram que há uma proporção significativa de florestas de altitude (muitas vezes chamadas florestas úmidas de altitude ou florestas nubladas) no Sistema Cantareira: ao menos 5% da área têm 50% de probabilidade de ocorrência de uma floresta nublada (Pompeu et al. 2018). As florestas de altitude possuem uma habilidade única de gerar água no solo e na superfície a partir da neblina, já que os galhos e

folhas das árvores captam e coletam gotículas de água que, não fossem elas, permaneceriam na atmosfera. Essa “captação de neblina” aumenta ligeiramente o impacto positivo dos cenários de restauração nos fluxos hídricos anuais e de estiagem.

Revisão dos estudos publicados que investigam o impacto das florestas na disponibilidade hídrica.

Embora a correlação entre as florestas e a qualidade da água esteja bem estabelecida, o impacto das florestas na quantidade de água é um tópico mais complexo e controverso. Esta seção apresenta os dados obtidos na revisão da literatura que fizemos para determinar o nível de conhecimento científico sobre os impactos das florestas na disponibilidade hídrica sazonal e anual no Sistema Cantareira.

Filoso et al. (2017) conduziram recentemente uma revisão global e sistemática da literatura sobre o impacto da restauração na quantidade de água produzida. A maioria dos estudos (cerca de 80%) mostra que a expansão da cobertura florestal afetou negativamente a quantidade de água produzida anualmente, mas quando se examinam os subconjuntos de dados se observa que existem diferentes respostas. O aumento da cobertura florestal leva à redução das taxas de recarga de aquíferos (67% dos estudos) e tem impacto no fluxo de estiagem (73% negativo, 27% positivo ou nenhum impacto), mas geralmente ajuda a reduzir os picos de fluxo ou a frequência de inundações (82%). Os estudos também mostraram que mais cobertura florestal leva a maiores taxas de infiltração de água e a níveis de umidade do solo, o que, eventualmente, pode levar à recarga do lençol freático e ao maior fluxo de base, contribuindo para a disponibilidade hídrica na estiagem.

Embora essa análise de 208 estudos de casos seja considerada a mais abrangente do gênero até o momento, ela ressalta importantes lacunas na literatura. Por exemplo, a grande maioria dos estudos foi conduzida em florestas da Oceania, Europa e Austrália, com representação desproporcional das florestas temperadas. As regiões tropicais e subtropicais são pouco estudadas, com apenas 23 dos 208 casos (7%) relacionados à América do Sul e à América Central.

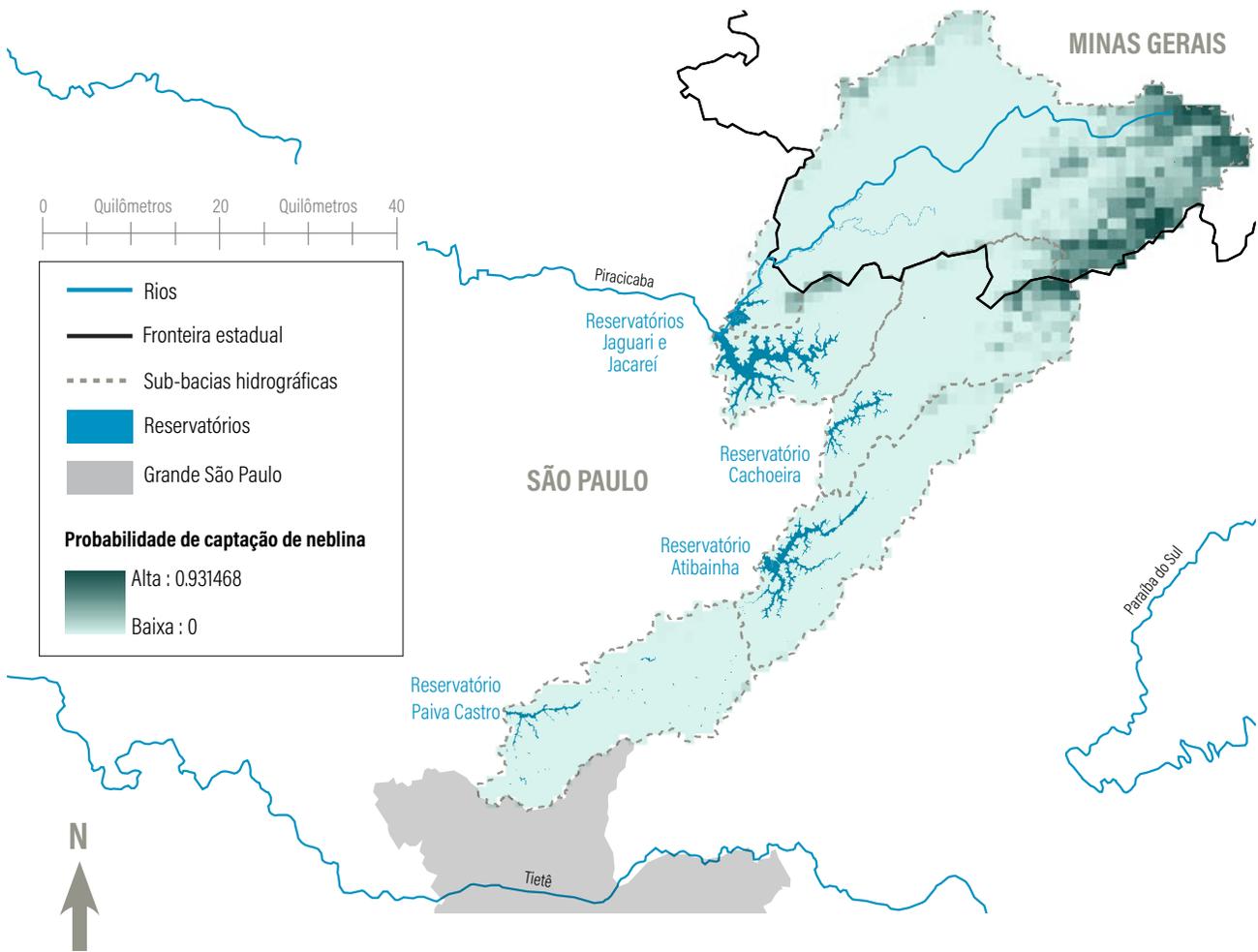
Para complementar os dados de Filoso et al. (2017), revisamos os estudos hidrológicos da região de Mata Atlântica do Brasil, mas esses estudos também mostram resultados variados em termos do impacto da restauração da bacia hidrográfica e do reflorestamento/restauração na quantidade de água produzida. Fujieda et al. (1997) constataram que as zonas ripárias de florestas da Serra do Mar, em São Paulo, podem reter água no solo e alimentar as fontes do lençol freático. Por outro lado, Alvarenga et al. (2016) verificaram que um aumento de 63% para 100% da cobertura de Mata Atlântica da bacia hidrográfica diminuiria o fluxo total mensal médio em 12% na estação chuvosa e 11% na estiagem. Pereira et al. (2014) constataram que um aumento da cobertura de mata nativa em uma bacia hidrográfica do Espírito Santo correspondeu a uma redução na disponibilidade de água de superfície e a um aumento da retenção de água no solo, garantindo fluxos mínimos durante os períodos de seca.

Embora esses estudos locais e globais pareçam mostrar um quadro inconsistente, nossa análise encontrou alguns fatores importantes sugestivos de que os estudos existentes não podem ser aplicados diretamente ao Sistema Cantareira. Primeiramente, a maioria dos estudos não menciona o propósito dos projetos de restauração. É bem aceita a noção de que a proteção ou restauração de florestas pode gerar maior fluxo de base quando é feita em topos de montanhas e zonas ripárias (Ellison et al. 2017). Os projetos de restauração cuja meta é gerar benefícios hídricos geralmente se concentram em zonas e tipos florestais que, reconhecidamente, oferecem benefícios hidrológicos, exatamente como os mencionados acima. No Brasil, elas correspondem muitas vezes às APP. Os projetos de restauração conduzidos por outras razões podem não ter intervenções destinadas a otimizar os benefícios hidrológicos, por isso os estudos sobre projetos de restauração florestal não hidrológicos não são, necessariamente, um bom referencial para medir como a restauração da infraestrutura natural no Sistema Cantareira poderia afetar a disponibilidade hídrica.

Em segundo lugar, quase todos os estudos foram conduzidos com um horizonte muito curto (um a cinco anos), insuficiente para se considerarem os impactos da idade e escala da restauração na quantidade de água produzida (Filoso et al.



Figura 7 | Probabilidade de ocorrência de floresta nublada no Cantareira (representa a captação de neblina)



Fonte: Contribuição de Patrícia Vieira Pompeu. Ver mais informações em Pompeu et al. (2018).

2017). Por exemplo, uma floresta apresenta rápido crescimento nos seus primeiros anos e tem grande necessidade de água, mas Brown et al. (2005) sugerem que, à medida que a floresta amadurece, as exigências de água podem chegar ao equilíbrio em níveis mais baixos, podendo retornar aos níveis pré-desmatamento e, conseqüentemente, deixando passar mais água pelo solo para o sistema hídrico.

Como a maioria dos estudos da revisão da literatura de Filoso et al. (2017) tem horizontes de tempo curtos, um resultado que correlacione o reflorestamento/restauração com diminuição

da quantidade de água produzida não leva em conta um declínio inicial da água. Considerando horizontes de tempo mais longos e áreas de florestas mais maduras, podem-se registrar melhor os impactos positivos das florestas na quantidade de água, mas há poucos estudos desse tipo e nenhum específico para a Mata Atlântica do sudeste brasileiro.

Em terceiro lugar, a captação de neblina contribui para a disponibilidade hídrica anual, mas o processo não foi explorado na revisão de Filoso et al. (2017) nem nos estudos locais. A literatura

mundial mostra que a captação de neblina pode representar até 30% da disponibilidade hídrica anual nas florestas nubladas, dependendo da temperatura, da elevação, da proximidade, de condensação nas folhas (Ellison et al. 2017). Embora não tenha havido mensurações de captação de neblina nos Sistemas Alto Tietê e Cantareira, essas áreas geográficas possuem características ecológicas e topográficas que levam à captação de neblina. A probabilidade de ocorrer captação de neblina nessas regiões foi mapeada (Pompeu et al. 2018; Figura 7). Segundo as estimativas de Pompeu et al. (2018), ocorrem condições de floresta nublada (probabilidade >0,5) em cerca de 5% de todo o Sistema Cantareira. Por isso, parece plausível que a restauração da floresta direcionada para essas áreas possa aumentar os fluxos hídricos na estiagem por meio dessa função hidrológica.

Como os estudos da revisão de Filoso et al. (2017) e da nossa revisão da literatura local não abordaram a captação de neblina, o horizonte temporal ou o propósito dos projetos de restauração, as publicações existentes não servem de base confiável para prever o resultado das intervenções de infraestrutura natural propostas para o Sistema Cantareira. Para compreender os variados mecanismos que determinam a quantidade de água produzida anualmente, são necessários estudos específicos dessa região e suas características biofísicas peculiares. O primeiro passo para lidar com essa importante lacuna de conhecimento foi criarmos um modelo preliminar que examina o impacto da perda ou ganho de florestas no fluxo hídrico para determinar se essa questão é suficientemente significativa para ser incluída nas decisões sobre gestão de recursos hídricos.

Método de modelagem para entender o balanço hídrico no Sistema Cantareira

Estudos voltados para grandes bacias de captação de água, como o Cantareira, tendem a usar modelos biofísicos para investigar a relação entre a cobertura florestal e a resposta ecológica. Neste estudo, aplicamos um modelo mensal de bacia hidrográfica, o modelo Dynamic Water Balance (Hamel et al. 2017; Zhang et al. 2008), para representar a bacia hidrográfica do Jaguari no Sistema Cantareira. O Jaguari é a maior sub-bacia hidrográfica do Sistema Cantareira, correspondendo a quase metade da área total (103.277 ha). Avaliamos a disponibilidade hídrica mensal em várias condições de cobertura da terra, com e sem funções de captação de neblina. Esse exercício de modelagem do fluxo de base avaliou o impacto da conservação da floresta na disponibilidade hídrica sazonal e constatou que uma grande área florestal somada ao efeito potencial de captação de neblina aumenta tanto o fluxo total quanto o fluxo de base (estiagem).

Como estas são lacunas importantes na literatura científica sobre modelagem hidrológica das mudanças no uso da terra nos trópicos, os resultados de qualquer modelo desse tipo devem ser interpretados com cautela. Esse exercício de modelagem é meramente ilustrativo. Seu objetivo é iniciar um diálogo sobre dinâmicas hidrológicas florestais frequentemente omitidas nas decisões de gestão de recursos hídricos, como a capacidade de captação de neblina da floresta nublada e as funções de fluxo de estiagem da mata nativa; o exercício visa também demonstrar uma metodologia de análise para uso futuro.

Por essas razões, usamos um modelo mensal simples (modelo Dynamic Water Balance) para representar o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas de São Paulo e estimar o potencial de influência da infraestrutura natural nos níveis de água dos reservatórios. O Apêndice B contém detalhes sobre o modelo, calibração, premissas, dados de entrada e avaliação de incerteza.

Testamos os cenários a seguir, que ilustram o efeito geral do uso da terra e o impacto de uma mudança realista por meio de investimentos em infraestrutura natural:

- **Cenário 1, referencial:** A atual cobertura da terra no Jaguari, composta basicamente por pastagens (59%) e florestas (33%, sem distinção entre mata nativa e floresta plantada, por limitação de dados), entre outros usos da terra. Consideramos que a mata nativa e a floresta plantada oferecem os mesmos benefícios de controle da erosão.
- **Cenário 2, 100% pastagem:** Todo o território, incluindo áreas atualmente urbanas, é convertido em pastagem. A pastagem foi a opção escolhida por ser o principal uso da terra na bacia hidrográfica. A pastagem não tem estrutura biofísica para captar neblina, por isso consideramos não haver captação de neblina nesse cenário que representa o limite superior do efeito do desmatamento (ausência total de florestas na bacia hidrográfica).
- **Cenário 3, 100% floresta:** Todo o território, incluindo áreas em desenvolvimento urbano, é recoberto por florestas. Esse cenário representa o limite superior do efeito da restauração (67% da bacia hidrográfica reflorestados). Ele retrata uma faixa de variação compatível com os possíveis serviços de captação de neblina prestados pela floresta nublada na região. Considera que tais serviços equivalem a 5% de aumento na precipitação.

- **Cenário 4, R4000:** A área florestal é aumentada em 8%. Retrata uma faixa de variação conservadora, pressupondo que não haja aumento da captação de neblina pela floresta (ou seja, a restauração ocorre em áreas em que não existem condições compatíveis com floresta nublada).

Os cenários 2 e 3 representam a faixa de variação dos possíveis impactos, mostrando os extremos, e não têm intenção de refletir decisões de gestão viáveis, mas apenas informar os potenciais limites mínimo e máximo. Nos Cenários 3 e 4, que consideram aumentos na cobertura florestal, forçamos o modelo a ignorar os dados de neblina e os representamos como mais 5% de precipitação, gerando uma faixa de variação. A premissa de 5% foi adotada porque se acredita que a floresta de altitude, que constitui a floresta nublada, tenha capacidade de gerar 5% a mais de captação de água por captação de neblina em relação a outros tipos de florestas (ver detalhes no Apêndice B).

Incluimos cenários com e sem captação de neblina por duas razões. Primeiro, porque, embora os pesquisadores locais tenham mapeado a extensão da floresta nublada nessa região, não há estudos publicados que estimem o nível de captação ou a quantidade de água que entra no sistema proveniente da contribuição desse mecanismo. Neste caso, usamos os resultados de pesquisas em saneamento sobre a floresta nublada na região (Pompeu et al. 2018) e avaliamos o impacto da possível captação de neblina no caudal e no fluxo de estiagem.

Além disso, como o modelo Dynamic Water Balance não é um modelo espacial, ele não leva em conta a variação geográfica na extensão das florestas nubladas. Os cenários que analisamos não pressupõem qualquer priorização de atividades de restauração, por exemplo, em áreas que poderiam maximizar a captação de neblina ou a infiltração do solo. Em vez disso, usamos um valor médio para a captação de neblina e infiltração. As áreas prioritárias que selecionamos para controle de sedimentos, ao criarmos o cenário de restauração R4000 no Capítulo 2, podem eventualmente se sobrepor às áreas de floresta nublada que maximizam as contribuições para o fluxo hídrico anual e sazonal, mas não foram planejadas para isso. A apresentação dos resultados de cada cenário na forma de uma faixa de variação, para representar os impactos com e sem captação de neblina, mostra os possíveis resultados, levando-se em conta essas incertezas.

A Tabela 8 indica o impacto da cobertura da terra nos fluxos hídricos. Cada cenário foi avaliado quanto a dois parâmetros: fluxo de estiagem e fluxo total. Os cenários de restauração mostram impactos variados no fluxo total (dependendo das premissas de captação de neblina), mas o fluxo de estiagem é consistentemente maior, o que demonstra uma

tendência geral para suavizar picos e vales do fluxo hídrico intersazonal, o que o transforma numa trajetória numa trajetória mais estável. Esses resultados indicam que as florestas do Cantareira podem ter o chamado “efeito esponja”, retendo água na estação chuvosa e liberando-a lentamente na estiagem. As pastagens, por outro lado, aumentam a disponibilidade hídrica total, mas reduzem significativamente o fluxo de estiagem, por isso não ajudam a moderar o ritmo ou os fluxos hídricos tanto quanto as florestas.

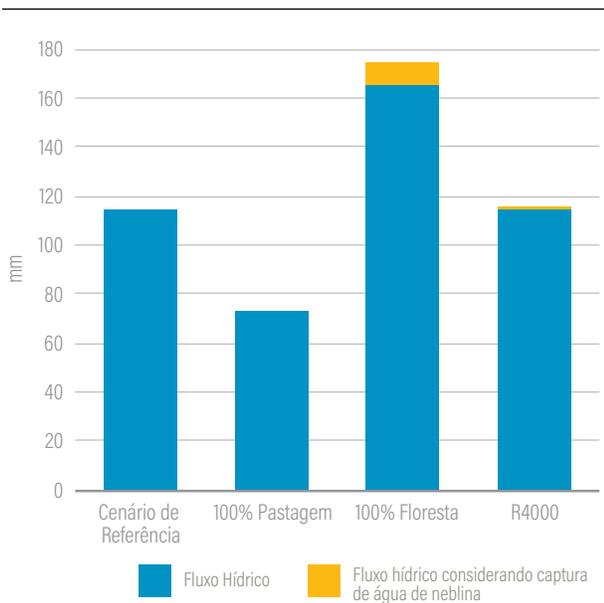
Embora os cenários de floresta possam levar à maior evapotranspiração e, conseqüentemente, ao menor fluxo total comparados ao cenário referencial, nossos resultados indicam que a captação de neblina poderia contrabalançar essa tendência e ainda poderiam satisfazer a demanda dos reservatórios. Portanto, gerenciar as terras para restaurar as funções de captação de neblina das florestas poderia gerar importantes benefícios em quantidade de água. Para o R4000, os resultados mostram impactos de baixa magnitude, refletindo alteração de apenas 2% da bacia hidrográfica. O fluxo mínimo de água no Sistema Cantareira poderia aumentar em até 1,2% no cenário do R4000, se realmente houver captação de neblina.

Tabela 8 | Efeito da cobertura da terra nos fluxos hídricos

CENÁRIO	REFERENCIAL (TOTAL ANUAL, MM ³)	100% PASTAGEM	100% FLORESTA		R4000	
			SEM CAPTAÇÃO DE NEBLINA	COM CAPTAÇÃO DE NEBLINA	SEM CAPTAÇÃO DE NEBLINA	COM CAPTAÇÃO DE NEBLINA
Fluxo de estiagem	435,1	-66,8%	+54,2%	+68,0%	+1,0%	+1,2%
Fluxo total	720,2	+21,5%	-5,5%	+3,9%	-0,1%	+0,1%

Nota: ^a abreviatura mm significa milímetros.
 Fonte: Autores.

Figura 8 | Efeito do uso da terra nos fluxos hídricos (estiagem, junho-agosto)



Fonte: Autores.

Quando consideramos apenas a estiagem entre junho e agosto (Figura 8), o fluxo hídrico aumenta em ambos os cenários de florestas (com ou sem captura de neblina), mas diminui no cenário de pastagem. Esse resultado ilustra dois importantes benefícios da cobertura florestal no Cantareira. O primeiro é que o produto do fluxo de estiagem pelas florestas ajuda a controlar o ritmo e o fluxo de água de modo a aliviar o estresse nos períodos de seca. O segundo é que os serviços de captura de neblina das florestas aumentam a disponibilidade hídrica total. Os gestores de recursos hídricos provavelmente percebem ambos os benefícios como desejáveis e podem planejar para alcançá-los conservando a cobertura florestal existente e restaurando florestas adicionalmente, de preferência em áreas com neblina.

Como a intensidade das precipitações na estação chuvosa deverá aumentar nessa região, o efeito esponja poderá ser cada vez mais importante no combate à escassez de água no futuro, gerenciando mais efetivamente os volumes hídricos que, em meados do século, poderão ultrapassar a atual capacidade de armazenamento de água. Embora nossos resultados indiquem que a captura de neblina e o efeito esponja da floresta possam trazer benefícios significativos à infraestrutura de gestão, são necessárias mais pesquisas para se verificar a magnitude de seus possíveis impactos. Em razão da falta de dados e conhecimento científico sobre a região, o estudo atual tem alto grau de incerteza.

Incerteza e limitações

Originalmente, havíamos planejado conduzir um estudo pelo método Green-Gray Assessment voltado para a contribuição da infraestrutura natural para os fluxos hídricos sazonais no Sistema Cantareira. No entanto, é necessária uma pesquisa biofísica mais aprofundada para inserir dados completos no nosso modelo, incluindo fatores como variâncias interanuais, diferentes impactos da mata nativa e das florestas plantadas, contribuição da água proveniente da captura de neblina pela floresta nublada e impacto das mudanças climáticas.

Se conduzirmos essa análise novamente, com um modelo capaz de levar em conta a variabilidade topográfica e espacial, poderíamos refinar os resultados e identificar a provável localização das áreas de floresta nublada. Para aumentar a confiança nos nossos resultados, precisamos de uma modelagem mais sofisticada de todo o sistema, incluindo a demanda, as regras dos reservatórios e as mudanças no uso da terra, além de calibrar o modelo com dados locais. As limitações dessa análise são discutidas mais detalhadamente no Apêndice B.

Como interpretar os resultados

Embora a pesquisa que serve de base para os investimentos em infraestrutura natural tenha algum grau de incerteza, nosso estudo mostra que a faixa de variação dos efeitos na quantidade de água é bastante estreita (+/- 1%) e, mais provavelmente, muito ligeiramente positiva. Mesmo que esta não pareça ser uma variação significativa com base na estimativa da Sabesp (2014) de consumo médio de água do Sistema Cantareira, a contribuição poderia ser suficiente para adicionar água suficiente para abastecer uma população de 103.000 a 256.000 pessoas por um ano. Apesar disso, essa alteração provavelmente não terá impacto nas decisões de gestão de recursos hídricos. A título de comparação pontual, em 2015, foram perdidos 182 bilhões de litros — o bastante para abastecer 2,7 milhões de pessoas por um ano — por vazamentos, fraude, diferenças nas micromedidas ou desvios ilegais na bacia PCJ, que inclui o Sistema Cantareira (Reinfra Consultoria 2017). No estado de São Paulo, 23,5% da água, em média, são perdidos antes de chegarem ao consumidor.

Como a maioria das projeções de mudanças climáticas disponíveis para a região prevê um aumento de 10 a 20% nos fluxos hídricos anuais até meados do século, é pouco provável que qualquer

impacto negativo no abastecimento de água, dessa magnitude prevista, seja relevante (PBMC 2013; Marengo et al. 2013; CCST e USP 2017; Nobre et al. 2010). Portanto, o impacto da restauração florestal no abastecimento de água anual talvez não seja uma ameaça aos atuais objetivos de gestão de recursos hídricos na área de São Paulo e possa, na verdade, ajudar a alcançar as futuras metas dos planos de bacia à medida que avançam as mudanças climáticas. No entanto, a falta de estudos e escassez de dados locais que permitam calibrar esse modelo representam importantes limitações; nossos resultados, portanto, devem ser interpretados com cautela.

As concessionárias de abastecimento de água estão habituadas a trabalhar com noções imperfeitas sobre a quantidade de água produzida e têm várias ferramentas para gerenciar os riscos hidrológicos (Jacobs & Fleming 2017). Com acesso a dados no nível de cada concessionária e pesquisas mais detalhadas do impacto da restauração da floresta nublada sobre a disponibilidade hídrica anual, os futuros estudos poderão contextualizar a questão, comparando os custos e benefícios dos investimentos em infraestrutura convencional e natural com muito maior grau de certeza.



CAPÍTULO IV

ROTEIRO PARA INVESTIMENTOS DE MAIOR ESCALA

Este relatório abordou a justificativa para investimentos, mostrando que, com base nas premissas do estudo, a restauração de 4.000 hectares de florestas oferece um ROI atrativo para empresas de água e comitês de bacias hidrográficas. Identificamos intervenções mais ambiciosas e sugerimos uma agenda de pesquisa que possa reforçar ainda mais a justificativa para esses investimentos. Este capítulo se propõe fundamentar as atividades de uma rede mais ampla de interessados, incluindo comitês de bacias hidrográficas, agências governamentais e programas de infraestrutura natural.

No Cantareira, já estão presentes muitos dos ingredientes essenciais para estratégias de implementação de infraestrutura natural em escala, como grande capacidade, conhecimento prático e entusiasmo de muitos grupos interessados. Após uma década de sucessos em programas de pequena escala, os programas de implementação de infraestrutura natural estão se tornando mais ambiciosos. Eles buscam garantir mais recursos para operarem à plena capacidade, envolver os atores do setor hídrico que possam se beneficiar das suas atividades e implementar estratégias de infraestrutura natural com mais proprietários de terras para produzir resultados em grande escala. Este capítulo define uma agenda para se alcançar essa transformação.

Por meio de workshops, consultas individuais e uma pesquisa de opinião, trabalhamos com os atores-chave locais para analisar os principais desafios e oportunidades para se progredir com as estratégias de implementação de infraestrutura natural (ver mais informações no Apêndice A). Complementamos as contribuições das partes interessadas com uma extensa revisão da literatura cujo foco foram os programas de infraestrutura natural na área em estudo. Tomando por base a matriz de fatores de sucesso para investimentos em bacia hidrográfica de Ozment et al. (2016), organizamos nossas observações em quatro áreas prioritárias para ação:

1. Identificação de investidores e mecanismos de financiamento de longo prazo. Atualmente, o maior aporte de recursos para infraestrutura natural no Sistema Cantareira vem do setor público. Os representantes do programa de infraestrutura natural na região estão interessados em envolver o setor de saneamento e entidades privadas para que invistam mais nessas estratégias, permitindo que elas ganhem escala. Muitos programas de infraestrutura natural na área conseguiram acesso a recursos suficientes para desenvolver projetos-piloto, mas precisam de meios financeiros sustentados e de grande escala para cumprir suas metas.

2. Desenvolver um plano de bacia hidrográfica com embasamento científico. As partes interessadas assinalaram que a justificativa para investimento é também

dificultada pela falta de um claro entendimento científico sobre a relação entre as intervenções de infraestrutura natural propostas e seus resultados.

3. Avaliar a justificativa para investimento. As partes interessadas comentaram repetidamente que a falta de uma avaliação robusta e confiável das oportunidades de investimento em infraestrutura natural impede um maior envolvimento do setor hídrico. O Fundo de Água para São Paulo conduziu um estudo preliminar sobre esse tema em 2013 e esse estudo preenche a lacuna. No entanto, constatamos que a justificativa para investimento pode ser lapidada, modificando-se as estratégias para lidar com a incerteza e apelando-se para os interesses dos investidores.

4. Envolver os proprietários de terras na conservação, restauração e gestão sustentável da infraestrutura natural. Em São Paulo, os representantes dos programas já estabeleceram sólidos relacionamentos com as comunidades e elaboraram protocolos de conformidade e monitoramento. Eles também têm experiência em oferecer assistência técnica e incentivos financeiros aos gestores de terras. Mesmo assim, a composição e a dinâmica da propriedade da terra no Cantareira continuam sendo obstáculos ao processo. O apoio continuado dos comitês de bacias hidrográficas ou da empresa de água, além das prefeituras municipais, poderiam gerar mais interesse dos proprietários na restauração, seja para adequação ambiental, seja para exploração econômica com manejo sustentável.

Como garantir o financiamento da infraestrutura natural

As partes interessadas sempre identificam como prioridade máxima a necessidade de garantir financiamento suficiente para avançar com a implementação da infraestrutura natural no Sistema Cantareira. Segundo estimativas recentes, os investimentos concretos em programas de infraestrutura natural parecem estar muito abaixo do orçamento exigido (Bremer et al. 2016). Muitos programas na região usam uma mescla de fontes de recursos, mas estão interessados em diversificar ainda mais essas fontes para dar mais flexibilidade e sustentabilidade financeira aos programas.

BOX 2 | OPÇÕES DE FINANCIAMENTO DA INFRAESTRUTURA NATURAL PARA ATRAIR INVESTIDORES AVESSOS A RISCO

Como os investimentos em infraestrutura natural não se enquadram nas atividades tradicionais de negócios de um operador de infraestrutura hídrica, muitos projetos foram travados pela hesitação das empresas de recursos hídricos em se envolver. Modelos de financiamento inovadores podem vencer esse obstáculo. Alguns desses modelos financeiros já estão sendo aplicados em São Paulo.

Alavancagem de capital de semente: Os programas de investimentos em bacias hidrográficas costumam depender do *seed capital* (capital inicial) para cobrir custos preliminares e projetos-piloto, e para conseguir que as concessionárias de água ou governos municipais tenham menor percepção de risco. Aparentemente, os programas em São Paulo estão adotando essa estratégia, confiando em doações corporativas e fundos governamentais.

Fundos de água: A Aliança Latino-Americana de Fundos de Água implantou 20 programas que reúnem recursos de múltiplas empresas dependentes da água e de atores do setor público, de modo que a contribuição individual de cada empresa ajuda a produzir um maior impacto cumulativo. O programa do Fundo de Água para São Paulo é liderado pela TNC e atualmente é financiado com recursos da bacia hidrográfica de fundos privados da Coalizão Cidades pela Água e de outras fontes. O fundo está buscando outras fontes de recursos e mecanismos de financiamento de modo a usar essa estratégia bem-sucedida para sustentar atividades de maior escala.

Alavancagem de capital privado no modelo pay-for-success: Pay-for-success é uma forma de contratação que vincula o pagamento pela entrega de serviços ao atingimento de resultados mensuráveis. O título de capital DC Water Environmental Impact Bond representa uma das primeiras aplicações do modelo *pay-for-success* a questões ambientais. Nesse caso, investidores privados cobrem todos os custos iniciais de instalação da infraestrutura verde para melhorar a gestão de águas pluviais, sob condição de que a empresa local de águas pague de volta o investimento com juros que variam dependendo do desempenho da infraestrutura verde (por exemplo, quanto maior for o sucesso do projeto, maior será a taxa de juros-e vice-versa).

Um modelo semelhante poderia apoiar os investimentos em infraestrutura natural no Cantareira ou em outras bacias hidrográficas no Brasil.

Parcerias com instituições financeiras que tenham como missão o desenvolvimento sustentável:

Os bancos de desenvolvimento têm feito investimentos significativos em sistemas de recursos hídricos no estado de São Paulo e em bacias limítrofes com o Sistema Cantareira. Por exemplo, o Fundo Global para o Meio Ambiente do Banco Mundial contribuiu com uma subvenção de R\$ 99 milhões para os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro para a restauração estratégica de áreas de abastecimento de água, visando aumentar os estoques de carbono e promover uma adaptação de base ecossistêmica na bacia do Paraíba do Sul (GEF 2016). O Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) também contribuiu com recursos para apoio aos fundos de água da TNC em toda a América Latina, incluindo o Fundo de Água para São Paulo (BID 2017).

Embora essas subvenções tenham sido essenciais para fomentar a restauração e as atividades de infraestrutura natural, pode haver oportunidades para envolvimento dos bancos de desenvolvimento em financiamentos de maior porte e mais longo prazo. O BID e o Banco Mundial expressaram seus interesses em financiar a implementação da infraestrutura natural em paralelo a projetos de infraestrutura hídrica convencional, como forma de promover suas agendas de desenvolvimento sustentável. No entanto, essas oportunidades de financiamento provavelmente exigiriam um nível de recursos de pelo menos R\$ 96 milhões e estariam sujeitas a compromissos da Sabesp e do governo. Elas provavelmente exigiriam um relatório de resultados do sistema como um todo, visando avaliar se os benefícios estão se concretizando. Portanto, os investimentos dos bancos de desenvolvimento em infraestrutura natural (exceto subvenções) provavelmente não são adequados para a maioria dos programas dessa linha no Cantareira, pelo menos não no seu formato atual. Na verdade, para aproveitar essas oportunidades, os programas provavelmente teriam de reunir seus esforços e operar em nível sistêmico, além de envolver a Sabesp.

Os dados apresentados nos Capítulos 2 e 3 indicam que investir na restauração direcionada de 4.000 ha de florestas deveria se mostrar atrativo para investidores do setor hídrico com aversão a risco, como a Sabesp ou os comitês de bacias hidrográficas. Estima-se que esse portfólio de investimentos produza um ROI suficiente representado pelos benefícios de retenção de sedimentos, com impactos mínimos, mas potencialmente positivos, nos fluxos hídricos sazonais e anuais. O acesso aos recursos necessários para acelerar a restauração é um dos meios pelos quais o programa pode aumentar as chances de gerar um ROI suficiente. Dadas essas condições, o Fundo de Água para São Paulo pode se beneficiar de um modelo financeiro misto, no qual múltiplos investidores reúnam fundos para reduzir o risco e ampliar os benefícios para além dos benefícios privados auferidos pela concessionária de serviços públicos e pelo setor hídrico (Box 2).

Constatamos que os programas dependem basicamente de recursos públicos, mas enfrentam dificuldades para garantir recursos suficientes dessas fontes. Ao mesmo tempo, alguns programas estão buscando fontes de financiamento internacionais e corporativas. As seções a seguir abordam as atuais e possíveis futuras fontes de recursos públicos e privados.

Recursos públicos

Os recursos públicos são a fonte primária de apoio à gestão de recursos hídricos no Brasil, mas, em geral, apenas uma pequena parcela é destinada aos programas de infraestrutura natural (Tabela 9). As principais fontes de recursos financeiros incluem:

- **Fundo Estadual de Recursos Hídricos:** Como fundo público gerenciado pelo governo de São Paulo, o Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) capta recursos das taxas de uso da água, das compensações financeiras (por exemplo, encargos de licenças e royalties), dos repasses do governo federal, das multas por infrações ambientais e de outras origens (Estado de São Paulo 2015). O FEHIDRO financia diversas atividades de gestão de recursos hídricos, incluindo os planos do comitê da bacia PCJ e a implementação do Plano Estadual de Recursos Hídricos, ambos capazes de transferir fundos para programas de infraestrutura natural.
- **Encargos de uso da água:** Em 2007, os comitês das bacias hidrográficas PCJ aprovaram um encargo por uso da água a ser cobrado em todas as contas de água. Esse encargo gera cerca de R\$ 64 milhões por ano para os comitês, (SMA 2013; Padovezi et al. 2012). A FEHIDRO gerencia esses recursos.
- **Repasses do governo federal:** Como a bacia PCJ atravessa os estados de São Paulo e Minas Gerais, ela é considerada uma bacia fluvial interestadual, por isso os comitês de supervisão da bacia fazem jus a repasses de recursos federais provenientes da Agência Nacional de Águas. Os comitês recebem cerca de 40% de seus recursos anuais na forma de repasses do governo federal (Agência PCJ 2015). Além disso, a Agência Nacional de Águas destina diretamente recursos do orçamento federal para atividades nos municípios de Joanópolis, Nazaré Paulista e Extrema através do Programa Produtor de Água.

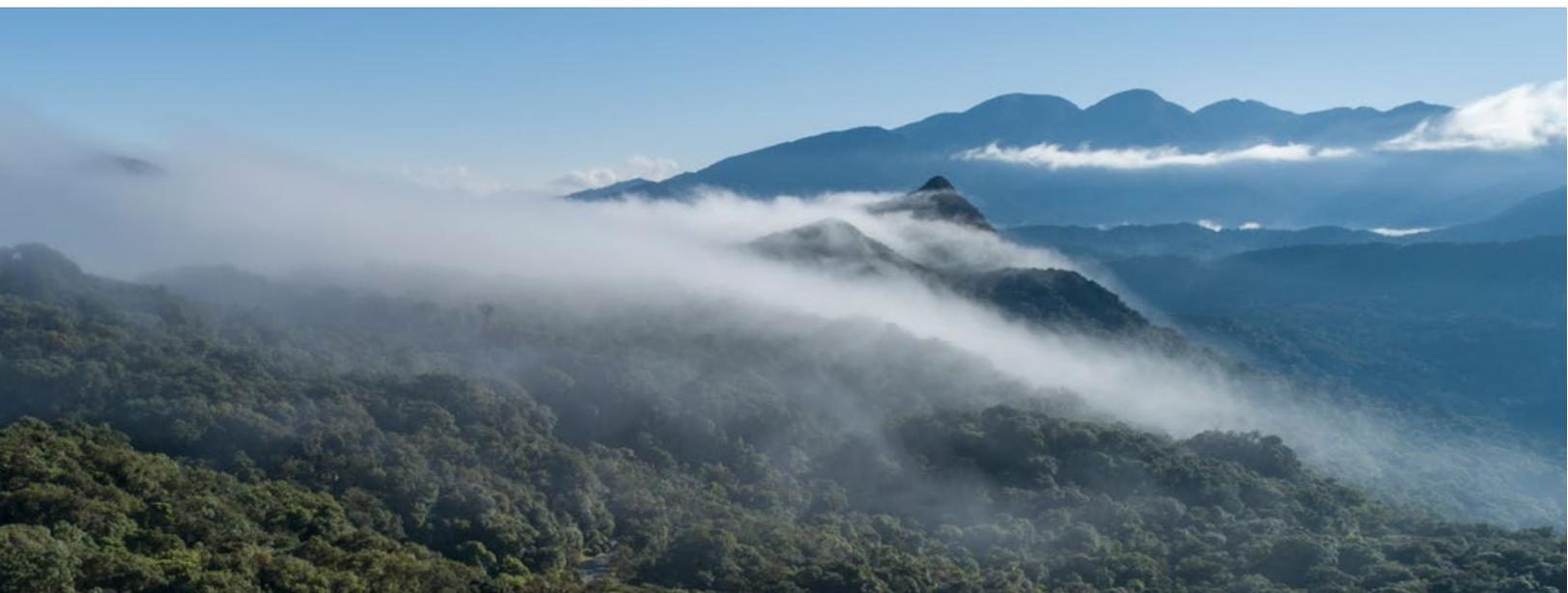


Tabela 9 | Principais fontes de recursos públicos para infraestrutura natural no Sistema Cantareira

FONTE DE RECURSOS	MONTANTE MÉDIO ANUAL ESTIMADO (R\$, MILHÕES)	DESTINATÁRIO	MONTANTE DISPONIBILIZADO PARA INFRAESTRUTURA NATURAL	PROGRAMAS DE INFRAESTRUTURA NATURAL APOIADOS
Taxa estadual de uso da água	64-96 ^a	Comitês das bacias PCJ	2% ^d	PPA PCJ; PPA EXTREMA; PPA ^e -ANA ^f
Agência Nacional de Águas	29	Comitês das bacias PCJ	2% ^d	PPA-ANA, PPA-PCJ, PPA-EXTREMA
ICMS-e municipal	22 ^b	Municípios	Desconhecido	Extrema
Compensação ambiental SNUC	32 ^c	Governo estadual	Desconhecido	N/A

Notas: a. Oliveira et al. 2015; b. SMA 2015b; c. Oliveira 2015; d. Padovezi et al. 2012; e. PPA, Programa Produtor de Água; f. ANA, Agência Nacional de Águas.

Fonte: Autores.

Existem muitas oportunidades de expandir a parcela desses fundos dedicada à infraestrutura natural, e as partes interessadas indicam que um maior envolvimento dos comitês das bacias hidrográficas PCJ seria especialmente bem-vindo. Os comitês vêm apoiando programas de infraestrutura natural no Cantareira desde que criaram seu primeiro plano de restauração florestal em 2005 (Padovezi et al. 2012), e esse apoio foi formalizado pela inclusão da infraestrutura natural no plano da bacia hidrográfica para 2012-25. Até o momento, somente cerca de 2% dos seus investimentos anuais foram operacionalizados em infraestrutura natural (Padovezi et al. 2012). A maioria dos investimentos dos comitês sempre foi usada para reparar vazamentos e melhorar os serviços de saneamento, mas com a recente limitação a 50% do orçamento imposta aos investimentos em projetos de saneamento, cria-se uma oportunidade para expandir as alocações a outros esforços, alinhados com a revisão da política de proteção e restauração das bacias hidrográficas. Orientar os membros dos comitês de bacias hidrográficas a respeito dos custos, benefícios, riscos e oportunidades da estratégia de implementação de infraestrutura natural é o ponto de partida natural para incentivar um maior envolvimento desses comitês nos projetos.

O comitê do Alto Tietê, que governa uma bacia fluvial adjacente e interligada ao Cantareira,

também poderia desempenhar um papel. Ele tem capacidade para definir uma taxa de uso da água a fim de gerar fundos para pagar os serviços ecossistêmicos. No entanto, o comitê gerencia apenas 15% do Sistema Cantareira e, portanto, pode ter um papel relativamente pequeno na execução das recomendações diretas deste relatório. Pesquisas adicionais poderão mostrar como essas oportunidades de infraestrutura natural seriam capazes de beneficiar também a bacia do Alto Tietê e envolver seu comitê.

O ICMS ecológico

Existem oportunidades de angariar recursos públicos de outras origens, como o ICMS-e (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços Ecológico). Esse instrumento fiscal destina-se a recompensar governos locais que promovam a conservação da biodiversidade e outras iniciativas ambientais. Segundo uma estimativa, o ICMS-e no Sistema Cantareira gera R\$ 23 milhões por ano, mas esses recursos raramente são usados para a implementação de infraestrutura natural (TNC 2010; SMA 2015b). O envolvimento dos municípios é legalmente necessário e estrategicamente essencial para se implementar a infraestrutura natural no Cantareira. Dos 12 municípios da região, pelo menos três já são parceiros ativos dos programas de infraestrutura natural (Extrema, Joanópolis e Nazaré Paulista),

mas, até o momento, somente Extrema investiu parte do ICMS-e em infraestrutura natural (SMA 2013, 2015b). As partes interessadas indicam que a adesão de outras cidades requer vontade política, novos regulamentos e procedimentos, transparência e mecanismos anticorrupção-condições que vão além do escopo de um programa típico de infraestrutura natural. Por exemplo, no estado de São Paulo, a legislação atual restringe as receitas do ICMS-e à criação de novas áreas protegidas, em vez de promover conceitos mais amplos de governança ambiental. Embora o ICMS-e represente uma fonte potencial de recursos para a infraestrutura natural, são necessárias alterações na lei para que esses compromissos possam ser concretizados.

Fundos de Compensação Ambiental

Diversas leis brasileiras multam empresas por danos ao habitat ou ao ambiente. Por exemplo, o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) definiu que projetos de desenvolvimento ou infraestrutura que danifiquem o meio ambiente dentro de uma área de proteção ambiental (APA) precisam compensar esses impactos pagando uma taxa denominada “compensação ambiental.” Como quase 99% do Sistema Cantareira são designados como APA, os fundos do SNUC podem ser outra fonte de alto potencial para expandir a aplicação de recursos públicos em infraestrutura natural no Sistema Cantareira (Oliveira et al. 2015). Segundo uma estimativa, esses pagamentos compensatórios alcançaram cerca de R\$ 320 milhões entre 2001 e 2013, mas muito pouco se sabe sobre quanto desses recursos foram investidos e onde (Oliveira et al. 2015).

Assim como ocorre com muitos recursos financeiros estaduais e federais para restauração ambiental (por exemplo, compensação ambiental e *royalties*), os fundos de compensação ambiental precisam ser regulamentados por procedimentos técnicos, administrativos e operacionais. Esses procedimentos ainda estão sendo desenvolvidos e são muitas vezes atrasados pela falta de pessoal nos órgãos governamentais para analisar e acompanhar esses processos (Oliveira et al. 2015). O Programa Nascentes é o único programa que estudamos que alavancou fundos de compensação ambiental para infraestrutura natural. Esse programa estatal criou um registro online no qual empresas que pagam compensações voluntárias ou regulamentadas

podem ser cotejadas com propostas de projetos de restauração. Esse processo poderia abrir caminho para que programas de infraestrutura natural acessem fundos de compensação ambiental.

Identificamos muitos outros fundos federais e estaduais que poderiam ser acionados para cobrir os custos das intervenções de infraestrutura natural, como o Fundo Estadual de Prevenção e Controle da Poluição, reservas do patrimônio natural e o Plano de Agricultura de Baixo Carbono (SAA 2016). Coletivamente, as fontes de recursos públicos para restauração ambiental provavelmente alcançam muitos milhões de dólares a cada ano. No entanto, como o uso desses fundos tem restrições, saber como acessá-los requer tempo e esforço consideráveis. Ainda mais importantes são, talvez, os fatores de capacidade, transparência e governança que precisam ser considerados no nível institucional para que esses fundos possam ser desbloqueados para uso em estratégias de infraestrutura natural de grande escala (Oliveira et al. 2015).

Recursos corporativos

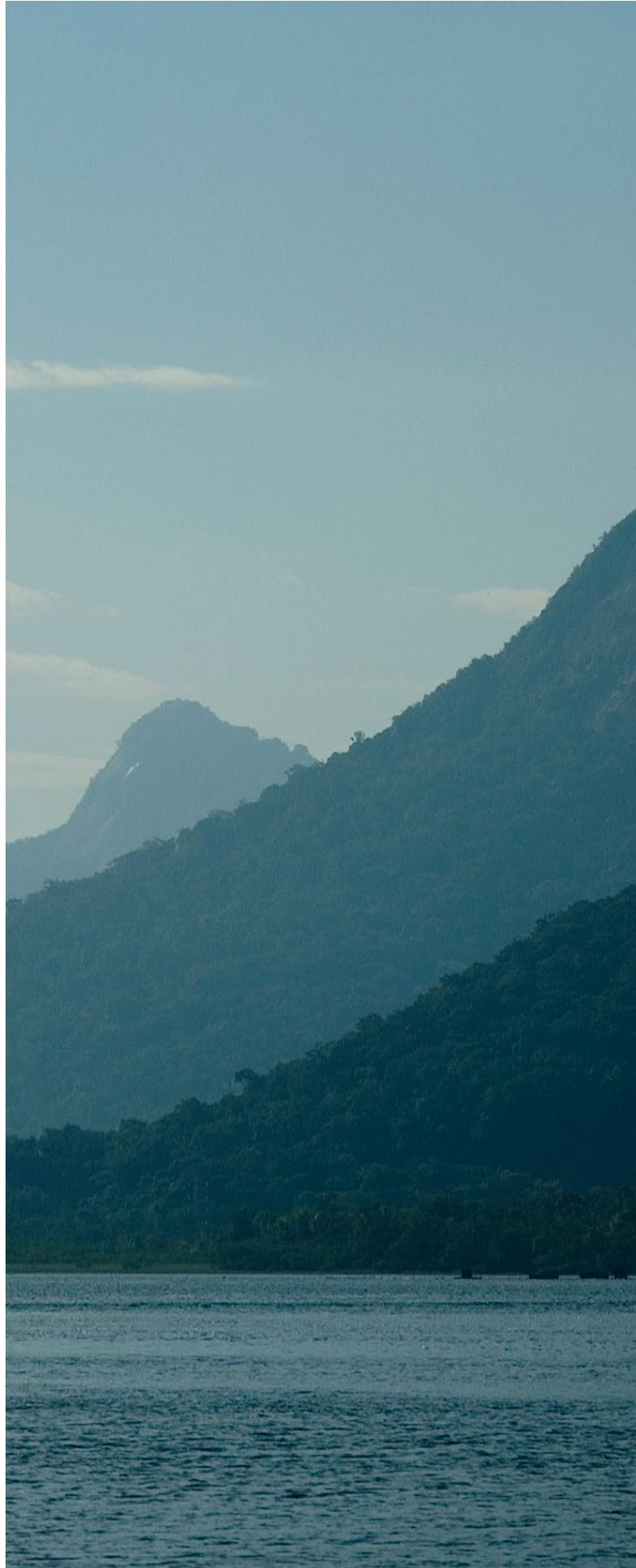
As doações corporativas são uma pequena mas importante parcela dos recursos disponíveis para infraestrutura natural no Sistema Cantareira. Esses recursos costumam ser doações ou compensações voluntárias. O Banco do Brasil, por exemplo, contribuiu para o Programa Produtor de Água da bacia PCJ. O Fundo de Água para São Paulo é o único programa em atividade que buscou explicitamente obter contribuições financeiras do setor privado, criando uma rede de empresas interessadas em investir em infraestrutura natural para reduzir os riscos de abastecimento de água e compensar sua pegada hídrica (TNC 2013).

Com o olhar no futuro, as partes interessadas que consultamos acreditam que as estratégias de infraestrutura natural oferecem uma oportunidade de investimentos lucrativos para empresas que precisam de água e, portanto, pretendem ampliar seu apoio corporativo à infraestrutura natural. Essas partes interessadas insistem em exigir a participação da Sabesp nesses esforços. Até o momento, a Sabesp já plantou quase 1.200 hectares de florestas adjacentes aos seus reservatórios no Cantareira, mas a participação da empresa nos programas de infraestrutura natural fora do seu perímetro foi insignificante. É importante se saber por que a

Sabesp não estabeleceu parcerias, mas infelizmente a Sabesp não contribuiu com dados ou perspectivas para essa análise. As possíveis razões para a falta de envolvimento da Sabesp incluem:

- **Divergência de prioridades.** A atual estratégia de investimentos da Sabesp visa aumentar o abastecimento de água para limitar os impactos de uma futura seca e não reduzir a produção de sedimentos. Talvez seja mais eficaz tentar envolver a Sabesp no momento em que ela estiver considerando investir em novas estações de tratamento de água.
- **Divergência de escala.** A Sabesp gerencia o Sistema Cantareira como uma só unidade e pode estar mais interessada em soluções e resultados sistêmicos em vez dos esforços extremamente localizados dos programas atuais. Nesse caso, uma melhor coordenação e relatórios de impacto anuais em escala que englobem toda a bacia hidrográfica poderiam estimular um diálogo útil.
- **Aversão a risco.** Embora em nível global muitas concessionárias de águas tenham investido em infraestrutura natural com sucesso, a Sabesp pode ser avessa a risco e não estar disposta a investir em um projeto que poderia fracassar. Os gestores de recursos hídricos que entrevistamos expressaram preocupação com a possibilidade de alto custo do programa e dificuldade de implementação, além de temer que a restauração da floresta afete negativamente o abastecimento de água. Nesse caso, um modelo do tipo *pay-for-success* (Box 2) e outras pesquisas sobre o impacto no fluxo de estiagem (Capítulo 3) poderiam convencer a empresa a participar.

As partes interessadas precisam ponderar os custos e benefícios de buscar diferentes fontes de recursos para seu trabalho futuro e abordar alguns importantes precursores dos investimentos de maior escala.



Em suma, as partes interessadas em infraestrutura natural concordam totalmente que a obtenção de recursos financeiros é uma grande prioridade para avançar com a implementação da infraestrutura natural no Cantareira, mas é preciso alcançar um claro entendimento compartilhado sobre como realizar esse objetivo. As partes interessadas precisam ponderar os custos e benefícios de buscar diferentes fontes de recursos para seu trabalho futuro e abordar alguns importantes precursores dos investimentos de maior escala.

O leque de opções de financiamento indica que seria benéfico para os comitês de bacias hidrográficas ativos na região formar um grupo de trabalho dedicado a desenvolver uma estratégia de financiamento de 10 anos para a infraestrutura natural, lançando mão de múltiplas fontes de recursos e traçando um plano que atenda aos interesses dos investidores potenciais.

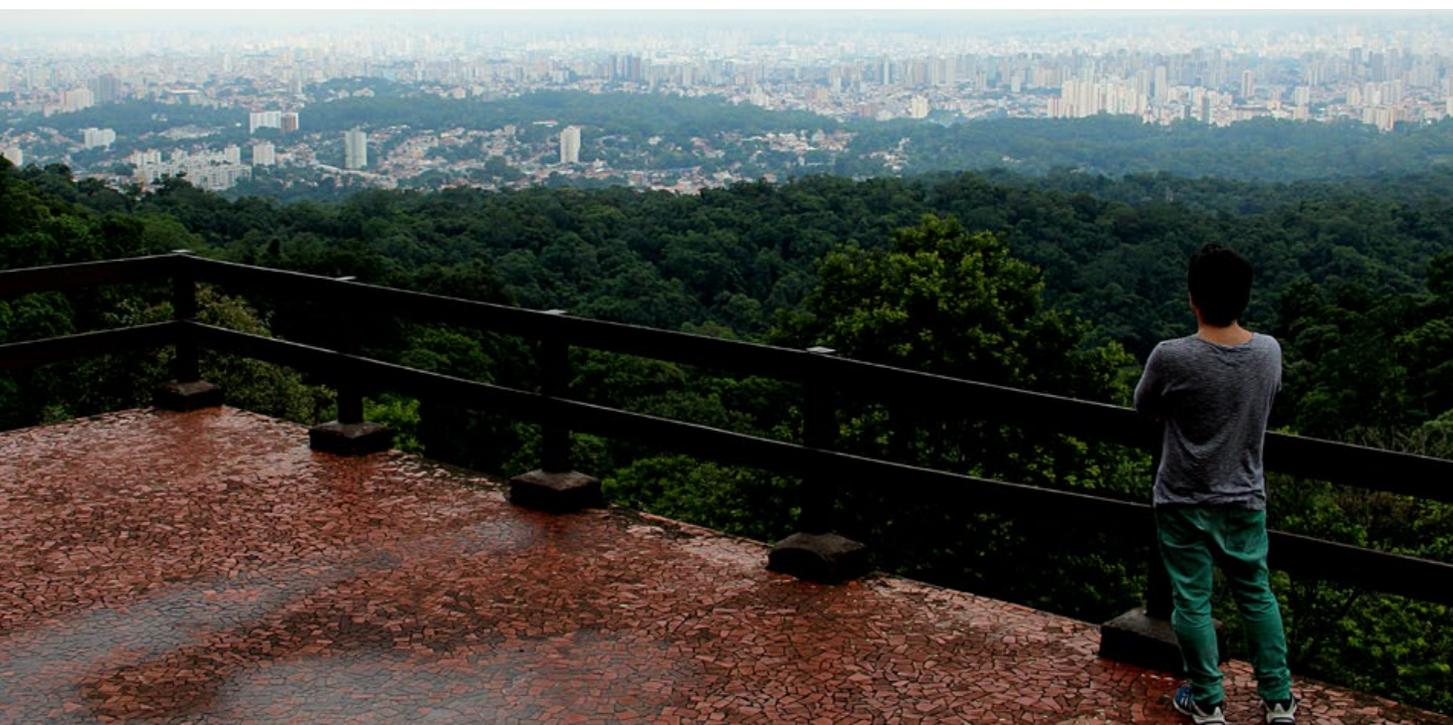
Implementação de um plano de infraestrutura natural para o Sistema Cantareira

Os atuais programas de infraestrutura natural surgiram, naturalmente, no nível municipal ou como projetos-piloto que proporcionam benefícios cumulativos muito localizados, mas que recebem recursos limitados. Conseqüentemente, os investimentos em infraestrutura natural em todo o Sistema Cantareira são difusos e não tratam o Cantareira como uma unidade de gestão. Embora

muitos dos programas que identificamos envolvam o mesmo grupo de organizações e agências, cada um deles opera em uma escala e uma geografia ligeiramente diferente. Isso pode trazer dificuldades para o alinhamento de perspectivas e, mais ainda, de planos de trabalho.

O Fundo de Água para São Paulo e a Agência das Bacias PCJ estão trabalhando para integrar os esforços de implementação de infraestrutura natural na região. A Secretaria do Meio Ambiente (SMA) do estado também definiu metas de coordenação entre os programas de infraestrutura natural e desenvolveu parcerias com cada município do Sistema Cantareira para avançar com as estratégias de infraestrutura natural. Esses esforços poderiam centralizar as informações dos programas quanto a metas, atividades, desempenho e monitoramento, e estabelecer uma conexão mais eficiente entre os programas que operam em diferentes partes da bacia hidrográfica.

Já existe na região uma capacidade substancial de planejamento da bacia hidrográfica. Por exemplo, a TNC e outros parceiros fornecem serviços de assistência técnica e conhecimentos práticos para envolver os proprietários de terras, esboçar projetos de restauração de florestas para a gestão da água, implementar mudanças e gerenciar e avaliar as obrigações contratuais (SMA 2013). A bacia PCJ conduz pesquisas de ponta em hidrologia florestal com a Escola Superior de Agricultura da Universidade de São Paulo; a equipe de



pesquisadores é especializada em monitoramento dos impactos hidrológicos de ganhos, perdas e mudanças florestais. Eles também pesquisam técnicas para recuperação mais rápida das funções hidrológicas por meio da restauração florestal (Lozano Baez et al. 2017). Seria essencial implantar um monitoramento do desempenho sistêmico da infraestrutura natural para desenvolver um

programa de infraestrutura natural de grande escala, mas é preciso preencher algumas lacunas fundamentais de informação para que isso seja possível.

Outras pesquisas visando entender como a infraestrutura natural poderia ser desenhada para otimizar benefícios de todos esses objetivos

BOX 3 | TÓPICOS PARA FUTURAS PESQUISAS SOBRE A MELHORIA DO PLANEJAMENTO DA INFRAESTRUTURA NATURAL

Que intervenções de infraestrutura natural têm melhor relação custo-benefício?

Embora este estudo trate da mata nativa como infraestrutura natural, outras formas de manejo sustentado das terras, como atividades agroflorestais, restauração de pastagens e manejo de estradas rurais também podem proporcionar redução de sedimentos. Possivelmente, mais da metade das pastagens no Sistema Cantareira estão degradadas, o que reduz sua produtividade e aumento o risco de exportação de sedimentos. O Plano de Agricultura de Baixo Carbono de São Paulo já tem como meta restaurar 15 milhões de hectares de pastagens degradadas (SAA 2016), por isso a incorporação da restauração de pastagens nos programas de infraestrutura natural poderia desbloquear mais recursos no âmbito de uma estratégia mais ampla de infraestrutura natural.

No entanto, outras pesquisas locais são necessárias para se determinar quais intervenções teriam melhor relação custo-benefício ou seriam mais atrativas para os investidores no programa. Essas intervenções de infraestrutura natural foram estudadas em outras regiões (Filoso et al. 2017), mas a escassez de dados provenientes de pesquisas locais relevantes representa uma barreira à avaliação dos seus custos e benefícios.

De que forma as intervenções de infraestrutura natural podem buscar outros objetivos da gestão de recursos hídricos e agregar valor social?

Conforme discutido no Capítulo 3, constatamos que há necessidade de mais pesquisas científicas sobre os impactos das áreas naturais na disponibilidade hídrica. Talvez esta seja a área de pesquisa mais crítica para responder às preocupações dos gestores de recursos hídricos a respeito das estratégias de infraestrutura natural. Existem soluções baseadas na natureza para lidar com o risco de inundações, dificuldades do saneamento rural e resiliência climática, mas outras pesquisas poderão ajudar a determinar que intervenções serão mais eficazes para o Cantareira. Gerenciar a disponibilidade hídrica entre períodos de chuvas torrenciais e seca prolongada é

especialmente relevante em regiões como São Paulo, onde, segundo alguns estudos, o principal desafio da gestão de recursos hídricos será lidar com as inundações e o acúmulo de limo resultante de fortes chuvas (Nobre et al. 2010).

Avaliar os impactos em diferentes classes de renda e gêneros poderia ajudar a delinear intervenções para apoio às iniciativas de combate à pobreza no meio rural. O melhor entendimento dos impactos da infraestrutura natural na produtividade da terra e na economia rural poderia ser particularmente útil para envolver os proprietários de terras nesses programas.

Como podemos garantir a viabilidade dos planos de infraestrutura natural?

As partes interessadas enfatizaram que são necessárias pesquisas para confirmar a viabilidade prática das intervenções. Seja por condições locais inóspitas ou por falta de disposição de atores-chave para participar, poderá ser inviável trazer para os programas algumas áreas prioritárias identificadas pelo modelo. As partes interessadas devem realizar mais análises espaciais e estudos de campo para incorporar esses parâmetros e priorizar áreas naturais a serem visadas para restauração ou conservação.

Que outras áreas devem ser visadas para intervenções de infraestrutura natural?

Embora este estudo tenha se concentrado em infraestrutura natural no Sistema Cantareira, esse sistema está cada vez mais interligado às bacias hidrográficas vizinhas. Por exemplo, São José dos Campos está localizada na bacia hidrográfica onde a Sabesp irá ligar o reservatório do Jaguari em Paraíba do Sul ao Cantareira. Além disso, às partes interessadas comentaram que o Cantareira tem a menor taxa de poluição por sedimentos de todas as bacias hidrográficas que alimentam São Paulo. Expandindo esta análise para considerar outros sistemas hídricos poderia revelar mais valor e fundamentar atuais decisões de investimento.

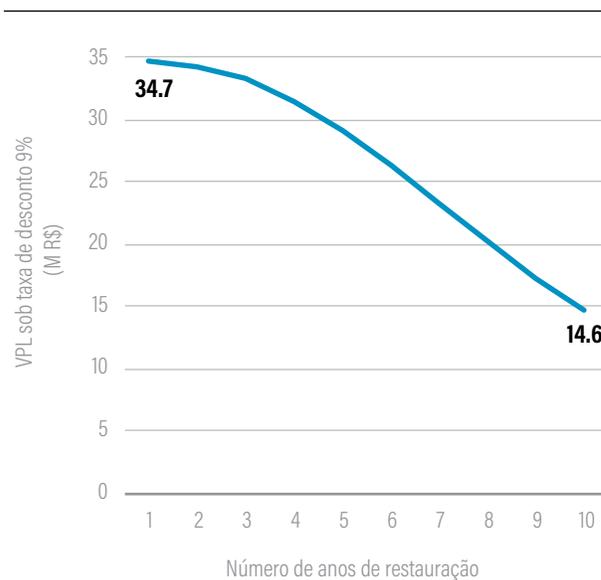
poderiam aumentar o valor social do programa, reduzir custos, ou aumentar benefícios ou, talvez, envolver outros investidores interessados em diferentes resultados. As partes interessadas deveriam definir uma agenda de pesquisa sobre esses temas para que muitos pesquisadores qualificados da região possam orientar suas pesquisas de modo a cumprir esses propósitos. Algumas questões sobre pesquisas já levantadas por partes interessadas são abordadas no Box 3. Um próximo passo natural para responder a essas perguntas pode ser expandir o Green-Gray Assessment aqui apresentado para avaliar mais objetivos de investimentos (como o controle de inundações ou de benefícios correlacionados à infraestrutura natural) ou mais portfólios de investimentos (incluindo manejo de floresta nublada, adoção de sistemas agroflorestais ou silvipastoris ou a manutenção de estradas rurais, por exemplo).

Refinando a justificativa para a infraestrutura natural

Se quiserem aumentar a confiança do investidor nos resultados previstos, os programas de infraestrutura natural terão de lidar com as principais fontes de incerteza, seja preenchendo lacunas de informação, seja esboçando programas robustos, preparados para ter um bom desempenho apesar da incerteza.

As pesquisas científicas e os esforços de coleta de dados abordados na seção anterior podem, certamente, melhorar o planejamento dos projetos. Também há espaço para melhorar os dados sobre custos e as premissas sobre decisões de gestão de recursos hídricos, bem como a necessidade de melhorar o conhecimento prático por meio do aprimoramento de pesquisas e coleta de dados. Avaliar os custos de tratamento da água é um dos desafios enfrentados pelos pesquisadores, consumidores e mesmo agências governamentais em todo o mundo (Wilbert et al. 1999; Reddy et al. 2015; Sousa Júnior 2011). Para este estudo, não pudemos contar com dados diretos. Consultamos relatórios financeiros trimestrais publicados pela Sabesp entre 2000 e 2016 e complementamos essa fonte com outra revisão da literatura e consulta a especialistas. Os relatórios financeiros públicos não fornecem os dados de custos necessários

Figura 9 | Impacto do cronograma de implementação do R4000 no VPL (retenção de sedimentos)



Fonte: Autores.

para fundamentar diretamente este estudo. Vale ressaltar que estudos semelhantes em Camboriú e Quito (Kroeger et al. 2017) puderam acessar dados sobre o serviço de abastecimento de água por meio de parceria com a concessionária local. Parcerias com a Sabesp ou órgãos reguladores poderiam melhorar o acesso a dados e estimativas.

Além disso, a melhoria de alguns elementos do desenho do programa poderia aumentar a viabilidade financeira do R4000, apesar de persistirem as fontes de incerteza. Por exemplo, o cronograma de atividades de restauração tem impacto significativo no VPL (Figura 9). Se o projeto fosse conduzido em 5 anos, o VPL seria R\$ 22,7 milhões, com payback em 20 anos. Um projeto assim provavelmente seria viável do ponto de vista financeiro, com as nossas premissas, mesmo se o desempenho da retenção de sedimentos fosse o mínimo esperado ou os custos de restauração fossem maiores do que consideramos. No entanto, conforme mencionamos na próxima seção, acelerar o ritmo da implementação tem seus próprios desafios e pode ser difícil.

Como envolver os proprietários de terras

Como os proprietários de terras são os tomadores de decisão responsáveis por implementar as ações de infraestrutura natural, seu envolvimento e

endosso são cruciais para qualquer programa de infraestrutura natural. Consideramos que os custos de transação são 20% dos custos de operação e investimento, porque o envolvimento dos proprietários de terras é um fator muito crítico e dispendioso. A incerteza e as dúvidas acerca da disposição dos proprietários de terras para participar no programa também determinam nossa premissa de que poderiam ser necessários 10 anos para restaurar 4.000 hectares de florestas no Cantareira. Portanto, uma estratégia efetiva para envolvimento dos proprietários de terras é um fator crítico para entregar resultados com eficácia e dentro do orçamento.

Para começar, um importante desafio a ser vencido é conseguir falar com os proprietários de terras. Quase toda a terra no Sistema Cantareira é propriedade privada e muitos dos proprietários de terras vivem em outro local e contratam pessoas para trabalhar ou cuidar das terras, o que pode dificultar, antes de qualquer outra coisa, a comunicação com com esses proprietários. O contrato com proprietários de terras para participação em esforços de implementação de infraestrutura natural requer comprovação clara da propriedade da terra, o que pode ser complexo na região, se o proprietário não tiver o registro das terras atualizado. O Fundo de Água para São Paulo tem vários anos de experiência envolvendo proprietários rurais e capacidade de mapeamento de propriedades individuais e projetos e pode avançar no sentido de vencer esse obstáculo.

Também é crucial garantir que o programa seja desenhado para beneficiar os proprietários de terras. Como já discutimos, muitos produtores rurais querem maximizar sua produção e não consideram que conservar a floresta ou dispor de áreas produtivas sejam compatíveis com seus planos individuais de renda. Uma das formas de incentivar a participação é oferecer incentivos suficientes para suplantar o custo de oportunidade dos proprietários de terras. Embora muitos programas locais ofereçam, de fato, incentivos como o pagamento por serviços ecossistêmicos, é importante garantir que esse pagamento seja suficiente para motivar os proprietários de terras a participarem, e uma compensação justa pelo valor dos benefícios gerados. Existem métodos

padronizados que se podem empregar para determinar o valor do contrato, levando em conta os custos de oportunidade. A Fundação Grupo Boticário tem um método para definir quanto pagar aos proprietários de terras por atividades de restauração, considerando o custo de oportunidade da terra bem como o valor dos serviços ecossistêmicos (Young et al. 2012; Young et al. 2014). O Programa Nascentes também desenvolveu um método para medir e padronizar os ativos e passivos ambientais, utilizando a unidade de “árvore-equivalente” (Estado de São Paulo 2014).

Outra maneira de lidar com essa questão poderia ser a promoção de intervenções de infraestrutura natural que tenham como resultante um aumento da renda dos proprietários de terras, como, por exemplo, os programas focados em implementar sistemas agroflorestais ou silvipastoris, que atendem ao duplo objetivo de melhorar os serviços ecossistêmicos e gerar renda no campo. Essas estratégias, até o momento, foram de difícil implementação devido à falta de dados que vinculem essas estratégias de manejo da terra aos impactos hidrológicos. É necessário pesquisar e planejar mais para incorporar essas estratégias nos programas de infraestrutura natural. Ainda assim, abordar essas questões poderia aumentar drasticamente o interesse dos proprietários de terras em participar desses programas e, por isso, elas merecem prioridade.

Como interpretar os resultados

A justificativa para investimento em infraestrutura natural apresentada nos capítulos precedentes pode ser útil para aumentar o interesse dos tomadores de decisão do setor hídrico na infraestrutura natural, mas este capítulo mostra que também devem estar presentes importantes condições favoráveis que incentivem investimentos significativos. Os programas de infraestrutura natural devem se preparar para obter investimentos maiores e atrair investidores avessos a risco, desenvolvendo uma visão compartilhada de sucesso, coordenando um plano de manejo de bacias hidrográficas e chegando a um consenso sobre uma estratégia de financiamento de longo prazo que lhes permita realizar mais, em conjunto, do que cada um isoladamente.



CAPÍTULO V

CONCLUSÃO

Este relatório apresentou uma análise financeira robusta para investimentos na natureza que complementem e protejam o maior sistema de abastecimento de água de São Paulo. Ele se soma às crescentes evidências de que a infraestrutura natural pode ser uma poderosa ferramenta de gestão de recursos hídricos. Avaliando-se apenas dois benefícios potenciais das florestas, a proposição de valor da infraestrutura natural para a água já é atrativa. No futuro, os custos de controle de sedimentos e de tratamento da água, bem como a regulação do ritmo e dos fluxos hídricos face às mudanças climáticas, deverão ser objetivos ainda mais proeminentes na gestão de recursos hídricos.

São Paulo tem uma oportunidade de suprir suas necessidades hídricas combinando estratégias de infraestrutura convencional e natural. Uma etapa crucial para alcançar esse objetivo é incorporar as considerações sobre infraestrutura natural aos processos de planejamento da gestão de recursos hídricos e expedi-las para começar a trabalhar com parceiros não tradicionais, como proprietários rurais, alcançando objetivos compartilhados. Ao mesmo tempo, os programas de infraestrutura natural e as agências governamentais deveriam apoiar os gestores de recursos hídricos, oferecendo estratégias de infraestrutura natural bem planejadas e trabalhando para criar condições que viabilizem as ações. A abordagem a alguns dos elementos destacados neste relatório pode ajudar a alcançar esses objetivos.

Esses resultados podem ser usados localmente para

- embasar a gestão de recursos hídricos, ajudando a determinar o 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 e escala;
- enfatizar a permanente necessidade de pesquisa e coleta de dados locais; e
- fornecer uma nova matriz de referência para estimular o diálogo e as parcerias que conduzam a oportunidades ganha-ganha de investimentos para o setor hídrico e os programas de infraestrutura natural.

Além de servir para embasar as decisões locais dos gestores de recursos hídricos, este estudo oferece os melhores dados e métodos disponíveis para facilitar as Análises de Investimento em Infraestrutura Natural (Green-Gray Assessments) no Brasil e no mundo. Apesar das importantes lacunas nos dados e pesquisas reconhecidas ao longo do relatório, ele serve de base para uma análise mais aprofundada do desempenho financeiro do uso da infraestrutura natural para a água. As informações e abordagens apresentadas no relatório podem ser aplicadas iterativamente no Cantareira à medida que novos dados se tornem disponíveis ou podem ser usadas para avaliar o papel da infraestrutura natural no atingimento de outros objetivos da gestão de recursos hídricos. O Green-Gray Assessment também está pronto para ser aplicado nas bacias hidrográficas vizinhas, que poderão aproveitar as experiências e os dados documentados neste relatório.

REFERÊNCIAS

- Abell, R., N. Asquith, G. Boccaletti, L. Bremer, E. Chapin, A. Erickson-Quiroz, J. Higgins et al. 2017. *Beyond the Fonte: The Environmental, Economic e Community Benefits of Source Water Protection*. Arlington, VA: The Nature Conservancy.
- Alvarenga, L., C. de Mello, A. Colombo, L. Cuartas, e L. Bowling. 2016. "Assessment of Land Cover Change on the Hydrology of a Brazilian Headwater Watershed Using the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model." *Catena* 143 (August): 7–17.
- ANA. 2016a. "Sistema Cantareira." Gráfico. <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/SistemaCantareira.png>.
- ANA. 2016b. *Programa produtor de água. Projeto Extrema*. <http://produtordeagua.ana.gov.br/ProjetoExtrema-MG.aspx>.
- Assaf Neto, A. 2010. *Finanças corporativas e valor*. São Paulo: Atlas.
- ANA e DAEE (Agência Nacional de Águas e Departamento de Águas e Energia Elétrica). 2013. *Dados de referência acerca da outorga do sistema Cantareira*.
- Benini, R., e S. Adandodato. 2017. *Economia da Restauração Florestal*. São Paulo: The Nature Conservancy.
- BID (Banco Interamericano de Desenvolvimento). 2017. "Latin American Water Funds Partnership." <http://www.iadb.org/en/sector/water-e-sanitation/initiative-funds-partnership/home,20489.html>.
- Bracale, H. 2017. Comunicação pessoal entre os autores e Henrique Bracale, Gerente, The Nature Conservancy Brazil.
- Bremer, L., D. Auerbach, J. Goldstein, A. Vogl, D. Shemie, T. Kroeger, J.L. Nelson et al. 2016. "One Size Does Not Fit All: Natural Infrastructure Investments within the Latin American Water Funds Partnership." *Ecosystem Services* 17: 217–36.
- Brown, A.E., L. Zhang, T.A. McMahon, A.W. Western, e R.A. Vertessy. 2005. "A Review of Paired Catchment Studies for Determining Changes in Water Yield Resulting from Alterations in Vegetation." *Journal of Hydrology* 310 (1–4): 28–61. doi:10.1016/j.jhydrol.2004.12.010.
- Carrascosa von Glehn, H. 2017. Comunicação pessoal entre os autores e Helena Carrascosa von Glehn, Coordenadora de Biodiversidade e Recursos Naturais, Secretaria Estadual do Meio Ambiente, Estado de São Paulo.
- CCST e USP (Centro de Ciência do Sistema Terrestre e Universidade de São Paulo). 2017. *Projeções do clima futuro para a região metropolitana de São Paulo*.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 2013. *Plano diretor de aproveitamento de recursos hídricos para a macrometrópole Paulista, no estado de São Paulo*. Final Report Volume 1. São Paulo: DAEE. http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1112:plano-diretor-de-aproveitamento-dos-recursos-hidricos-para-a-macrometropole-paulista&catid=42:combate-enchentes.
- Ellison, D., C. Morris, B. Locatelli, D. Sheil, J. Cohen, D. Murdiyarsoi, V. Gutierrez et al. 2017. "Trees, Forests e Water: Cool Insights for a Hot World." *Global Environmental Change* 43 (Supplement C): 51–61.
- Estado de São Paulo. 2014. Institui o programa de incentivos à recuperação de matas ciliares e à recomposição de vegetação nas bacias formadoras de mananciais de água, institui a unidade padrão árvore-equivalente e dá providências correlatas. Decreto da Assembleia Legislativa n. 60.521. 5 de Junho, 2014. <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/legislacao/decreto/2014/decreto-60521-05.06.2014.html>.
- Estado de São Paulo. 2015. *Relatório de atividades FEHIDRO*. Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos. http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents//COFEHIDRO/10522/relatorio_de_atividades_fehidro_2015.pdf.
- Extrema (Município de Extrema). 2017. *Conservador da águas: 12 anos*. http://www.extrema.mg.gov.br/conservadordasaguas/Conservador%20da%20%C3%81guas_Livreto_12_ANOS_WEB.pdf.
- Ferraz, S., W. de Paula Lima, e C. Bozetti Rodrigues. 2013. "Managing Forest Plantation Landscapes for Water Conservation." *Forest Ecology e Management* 301.
- FGB (Fundação Grupo Boticário). 2015. "Ecosystem Based Adaptation: Opportunities for Public Policies in Climate Change." Fundação Grupo Boticário.
- Filoso, S., M.O. Bezerra, K.C.B. Weiss, e M.A. Palmer. 2017. "Impacts of Forest Restoration on Water Yield: A Systematic Review." *Plos One* 12 (8): e0183210.
- Fujieda, M., T. Kudoh, V. de Cicco, e J. de Calvarcho. 1997. "Hydrological Processes at Two Subtropical Forest Catchments: The Serra do Mar, São Paulo, Brazil." *Journal of Hydrology* 196 (1–4): 26–46.
- Gartner, T., J. Mulligan, R. Schmidt, e J. Gunn. 2013. *Natural Infrastructure*. Washington, DC: World Resources Institute.
- GEF (Global Environmental Facility). 2016. "New Project Focuses on the Atlantic Forest of Southeastern Brazil." Press Release. Fevereiro 19. <https://www.thegef.org/news/new-project-focuses-atlantic-forest-southeastern-brazil>.
- Giroto, P. 2013. *Integrating Community e Ecosystem-based Approaches in Climate Change Adaptation Responses*. ELAN.
- O Globo. 2017a. "Justiça suspende obras de ampliação de oferta de água em SP." 5 de Maio. <https://g1.globo.com/sao-paulo/noticia/justica-suspende-obras-de-ampliacao-de-oferta-de-agua-em-sp.ghtml>.
- O Globo. 2017b. "Obra de interligação do Sistema Cantareira à bacia do Paraíba do Sul é embargada." 23 de Junho. <https://g1.globo.com/sp/vale-do-paraiba-regiao/noticia/obra-de-interligacao-do-sistema-cantareira-a-bacia-do-paraiba-do-sul-e-embargada.ghtml>.
- Gray, E., S. Ozment, J.C. Altamirano, R. Feltran-Barbieri, e G. Morales. No prelo. "Green-Gray Assessment." Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.

Hamel, P., A. Guswa, J. Sahl, e L. Zhang. 2017. "Predicting Dry-Season Flows with a Monthly Rainfall-Runoff Model: Performance for Gauged e Ungauged Catchments." *Hydrological Processes* 1 (22).

Hansen, M., P. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau et al. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342: 850–53.

Hespanhol, I. 2017. Comunicação pessoal entre Rafael Feltran-Barbieri e Ivanildo Hespanhol, Diretor, Centro Internacional de Referência em Reúso da Água, Universidade de São Paulo.

Honzák, M., L. Sáenz, T. Pinheiro, L. Bede, e N. Rao. 2012. *Protecting Freshwater Sources of the Rio de Janeiro's Metropolitan Area*. Rio de Janeiro, Brazil: Conservation International.

Instituto Escolhas. 2016. *Quanto o Brasil precisa investir para recuperar os 12 milhões de hectares de floresta?* São Paulo: Instituto Escolhas.

Instituto Trata Brasil. 2017. *Benefícios Econômicos e Sociais da Expansão do Saneamento no Brasil*. <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/beneficios-ecosocio/relatorio-completo.pdf>.

Ittelson, T.R. 2009. *Financial Statements: A Step-by-Step Guide to Understanding and Creating Financial Reports*. 2nd Ed. Franklin Lakes, NJ: The Career Press.

Jacobs, K., e P. Fleming. 2017. "Climate Change: A Strategic Opportunity for Water Managers." In *The Water Problem*, editor Pat Mulroy. Washington, DC: Brookings Institution Press.

Junqueira, A., J. Pimentel, e G. Castro. 2017. *Brazilian Water and Sewage Sector. Is a Revolution Coming?* São Paulo: BTG Pactual Equity Research. <https://static.btgpactual.com/media/brut170308-water-privatization.pdf>.

Kroeger, T., C. Klemz, D. Shemie, T. Boucher, J.R.B. Fisher, E. Acosta, P.J. Dennedy-Frank et al. 2017. *Assessing the Return on Investment in Watershed Conservation: Best Practices Approach and Case Study for the Rio Camboriú PWS Program, Santa Catarina, Brazil*. Arlington, VA: The Nature Conservancy.

Lobel, F. 2015. "SP MG e RJ fecham acordo de gestão do rio Paraíba do Sul para beneficiar Cantareira." *Folha de São Paulo*. Dezembro 2015. <http://www1.folha.uol.com.br/cotidiano/2015/12/1717338-sp-mg-e-rj-fecham-acordo-de-gestao-do-rio-paraiba-do-sul-para-beneficiar-cantareira.shtml>.

Lopez, H. 2008. "The Social Discount Rate: Estimates for Nine Latin American Countries." Washington, DC: World Bank/Latin America e the Caribbean Region/Office of the Chief Economist Policy Research Working Paper 4639.

Lozano Baez, S., R. Rodrigues, S. Ferraz, M. Cooper, e A. Franzosi. 2017. "How Long It Will Take to Recover Soil Properties after Forest Restoration?" Paper prepared for the VI World Conference on Ecological Restoration.

Machado, R., C. Vettorazzi, e A. Xavier. 2003. "Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento." *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27 (2003): 727–33.

Marengo, J.A., M.C. Valverde, e G.O. Obregon. 2013. "Observed and Projected Changes in Rainfall Extremes in the Metropolitan Area of São Paulo." *Climate Research* 57 (13 de Junho).

MC (Ministério das Cidades). 2015. "Diagnóstico dos serviços de água e esgoto 2015." MC/Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Brasília. <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2015>.

Moreno, F.N., C.L. Midaglia, e B.D. Ruiz. 2014. *Monitoramento da qualidade da água do sistema Cantareira*. São Paulo: CETESB.

Neary, D.G., G.G. Ice, e C.R. Jackson. 2009. "Linkages between Forest Soils e Water Quality e Quantity." *Forest Ecology e Management* 258 (10): 2269–81.

Nobre, C.A., A. Young, P. Saldiva, J. Marengo, A. Nobre, S. Alves Jr., G.C.M. Silva et al. 2010. *Vulnerabilidade das megacidades Brasileiras às mudanças climáticas: Região metropolitana de São Paulo*. Sumário Executivo. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Universidade de Campinas, Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo, e Universidade Estadual Paulista.

Oliveira, K., G. Pinheiro, e A.C. Barros. 2015. *Compensação ambiental: Um retrato sobre o cenário Brasileiro*. Brasília: The Nature Conservancy. <http://www.nature.org/media/brasil/compensacao-ambiental-retrato-cenario-brasileiro.pdf>.

Ozment, S., T. Gartner, H. Huber-Stearns, K. DiFrancesco, N. Lichten, e S. Tognetti. 2016. *Protecting Drinking Water at the Source*. Washington, DC: World Resources Institute.

Padovezi, A., R. Gorne Viani, U. Kubota, D. Taffarello, M. Faria, H. Bracale, V. Ferrari et al. 2012. *Projeto produtor de água na bacia hidrográfica PCJ em São Paulo, Brasil*. Payments for environmental services learning paper no. 2012-2. Washington, DC: World Bank Group.

PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas). 2013. "The Scientific Basis of Climate Change." Executive Summary. http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/en/publications/reports-pbmc/item/executive-summary-the-scientific-basis-of-climate-change?category_id=16.

PCJ (Agência das Bacias PCJ). 2015. "Cobrança pelo uso da água." Piracicaba, São Paulo.

Pereira, D. dos R., A.Q. de Almeida, M.A. Martinez, e D.R.Q. Rosa. 2014. "Impacts of Deforestation on Water Balance Components of a Watershed on the Brazilian East Coast." *Revista Brasileira de Ciência Do Solo* 38: 1350–58.

Pompeu, P., M. Fontes, M. Mulligan, I. Bueno, M. de Siqueira, F. Acerbi Júnior, L. H. Kamino et al. 2018. "Assessing Atlantic Cloud Forest Extent and Protection Status in Southeastern Brazil." *Journal for Nature Conservation* 43 (June): 146–55.

- Poorter, L., F. Bongers, T. Mitchell Aide, A.M. Almeyda Zambrano, P. Balvanera, J.M. Becknell, V. Boukili et al. 2016. "Biomass Resilience of Neotropical Secondary Forests." *Nature* 530 (7589): 211–14.
- Porto, M. 2017. Comunicação pessoal entre os autores e Monica Porto, Secretária Adjunta da Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos, Estado de São Paulo.
- Reddy, V., M. Kurian, e R. Ardakanian. 2015. *Life-cycle Cost Approach for Management of Environmental Resources*. Dordrecht: Springer.
- Reinfra Consultoria. 2017. *As perdas de água nos sistemas de distribuição como agravante à vulnerabilidade das bacias hidrográficas*. Produto 4, Estudo Final. <http://tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/bacias-pcj/sumario-executivo.pdf>.
- RFB (República Federativa do Brasil). 2015. Intended Nationally Determined Contribution: Towards Achieving the Objective of the United Nations Framework Convention on Climate Change. Brasília: RFB. <http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80108/BRAZIL%20iNDC%20english%20FINAL.pdf>.
- Rodrigues, R., S. Geolfi, A. Nave, J. Aronson, T. Barreto, C. Yuri Vidala, e P. Brancalionae. 2011. "Large-scale Ecological Restoration of High-Diversity Tropical Forests of Southeast Brazil." *Forest Ecology & Management* 261: 1605–13.
- SAA (Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo). 2016. "Governo de São Paulo lança Plano ABC estadual já oferecendo ferramentas para sua aplicação." <http://www.agricultura.sp.gov.br/noticias/governo-de-sao-paulo-lanca-plano-abc-estadual-ja-oferecendo-ferramentas-para-sua-aplicacao/>.
- Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). 2014. "Sabesp mostra o que fazer para diminuir o consumo de água em São Paulo." São Paulo: Sabesp. <http://site.sabesp.com.br/site/imprensa/noticias-detalle.aspx?secaoid=65&id=6110>.
- Sabesp. 2015. *Crise hídrica, estratégias e soluções da Sabesp: Para a região metropolitana de São Paulo*. São Paulo: Sabesp.
- Sampaio, A. 2017. Comunicação pessoal entre Rafael Feltran-Barbieri e Américo Oliveira Sampaio, coordenador da Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos, Estado de São Paulo.
- Sharp, R., H. Tallis, T. Ricketts, D. Guerry, S. Wood, e R. Chaplin-Kramer. 2016. *INVEST User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, e World Wildlife Fund.
- SMA (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo). 2013. "Experiências de pagamentos por serviços ambientais no Brasil." São Paulo: SMA.
- SMA. 2015a. *Programa Nascentes: Proteção e restauração de mata ciliar*. Governo estadual de São Paulo.
- SMA. 2015b. "ICMS ecológico: Valores repassados." Governo estadual de São Paulo. Site. <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/icms-ecologico/>.
- SMA. 2017. "Programa Nascentes." Governo do Estado de São Paulo. Site. <http://www.ambiente.sp.gov.br/programanascentes/>.
- Soares-Filho, B., R. Rajão, M. Macedo, A. Carneiro, W. Costa, M. Coe, H. Rodrigues et al. 2014. "Cracking Brazil's Forest Code." *Science* 344: 363–64.
- Sousa Júnior, W.C. 2011. *Análise econômica da relação entre o uso do solo e custos de tratamento de água no estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo/Global Environmental Facility e the World Bank.
- Sousa Júnior, W.C. 2013. "Pagamento por serviços ecossistêmicos. Sedimentos e nutrientes. Sistemas de abastecimento da RMSP." São Paulo.
- Talberth, J., E. Gray, L. Yonavjak, e T. Gartner. 2013. "Green versus Gray: Nature's Solutions to Infrastructure Demes." *Solutions Journal* 4 (1): 40–47.
- TNC (The Nature Conservancy). 2010. "A Genuine Brazilian Incentive for Conservation: Ecological ICMS." Brochure. http://moderncms.ecosystemmarketplace.com/repository/moderncms_documents/Ecological%20ICMS.1.1.pdf.
- TNC. 2013. "Movimento Água para São Paulo (MApSP)." PPT. https://www.nature.org/media/water/Plano_de_Negocios_SP_WF_1a_versao.pdf.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2013. *Drinking Water Infrastructure Needs Survey and Assessment: Fifth Report to Congress*. Washington, DC: EPA. <http://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa816r13006.pdf>.
- Wilbert, M., J. Pellegrino, J. Scott, e Q. Zhang. 1999. "Water Treatment Estimation Routine User Manual." US Department of Interior. Denver, CO: Technical Service Center/Environmental Resources Service. Document R-99-04.
- Young, A., e C. Nobre. 2010. "Mapping Risk and Vulnerability in São Paulo Metropolitan Region." 1st World Congress on Cities and Adaptation to Climate Change. Local Governments for Sustainability. Reprinted in *Resilient Cities 2*: (2012) 53–63.)
- Young, C., e L. Barcellos de Bakker. 2014. "Payments for Ecosystem Services from Watershed Protection: A Methodological Assessment of the Oasis Project in Brazil." *Natureza & Conservação* 12: 71–78.
- Young, C., L. Barcellos de Bakker, A. Rocha Ferretti, C. Kriek dos Santos, e R. Atanazio. 2012. "Implementing Payments for Ecosystem Services in Brazil: Lessons from the Oasis Project." Rio de Janeiro, Brazil: Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- Zhang, L., N. Potter, K. Hickel, Y. Zhang, e Q. Shao. 2008. "Water Balance Modeling over Variable Time Scales Based on the Budyko Framework: Model Development e Testing." *Journal of Hydrology* 360 (1–4): 117–31.

APÊNDICE A. MÉTODO DE CONSULTA ÀS PARTES INTERESSADAS E DESENVOLVIMENTO DE ROTEIRO

Este apêndice explica a metodologia e as fontes de dados usadas para conduzir a análise contextual apresentada no Capítulo 1 e formular a análise apresentada no Capítulo 4.

Nossos parceiros e principais partes interessadas na área expressaram interesse em desenvolver um plano de ação para promover as estratégias de infraestrutura natural no Cantareira e em São Paulo, com base nos resultados do Green-Gray Assessment. Para corresponder a esse interesse, conduzimos uma linha de investigação visando identificar os principais fatores de sucesso e abordagens para estabelecer programas bem-sucedidos de investimentos em bacia hidrográfica, usando a matriz de Ozment et al. (2016). Como a matriz se baseia em pesquisas feitas nos EUA, trabalhamos em conjunto com as partes interessadas, revisando a lista de 10 fatores da matriz antes de sua aplicação e verificamos que ela é relevante para o contexto local brasileiro.

Para aplicar a matriz, mapeamos as partes interessadas locais, solicitando aos parceiros do projeto que identificassem pessoas que tivessem um papel esperado na gestão da infraestrutura natural, incluindo as seguintes:

- **Investidores atuais ou potenciais:** Comitês de bacias hidrográficas, empresas de recursos hídricos, entidades filantrópicas e programas ambientais do governo que trabalhem ou tenham interesse em trabalhar com programas de infraestrutura natural no Cantareira
- **Coordenadores de programas de infraestrutura natural:** Organizações governamentais e não governamentais que supervisionam financiamentos a programas, negociam contratos, facilitam contatos, atuam como intermediários entre investidores e proprietários de terras e administram projetos de infraestrutura natural
- **Proprietários de terras:** Associações ou organizações não governamentais que representam os interesses e as perspectivas dos proprietários rurais que poderiam se envolver em projetos de infraestrutura natural
- **Órgãos aprovadores:** Agências governamentais federais, estaduais e municipais que aprovam medidas regulamentares relevantes
- **Especialistas técnicos:** Organizações acadêmicas e de pesquisa com experiência em recursos naturais e projetos de pesquisa ativos na vizinhança

Consultamos as partes interessadas de três maneiras:

Um oficina em São Paulo em novembro de 2016 que obteve contribuições de alto nível. Houve 40 participantes. As discussões para embasar esta pesquisa incluíram: situação da infraestrutura convencional e natural no Sistema Cantareira; fontes de dados para avaliar a infraestrutura natural; e identificação de iniciativas de infraestrutura natural relevantes e oportunidades de colaboração.

Entrevistas semiestruturadas individuais conduzidas pelo Skype entre setembro e outubro de 2016, e novamente em junho de 2017, para coletar dados e perspectivas de financiamento da infraestrutura natural no Brasil. Foram conduzidas 12 entrevistas.

Uma pesquisa de opinião conduzida por e-mail entre junho e julho de 2016 para coletar dados e perspectivas acerca de quais fatores de sucesso merecem atenção mais imediata no Sistema Cantareira. A pesquisa foi enviada a 14 interessados que eram gestores de recursos hídricos de nível sênior e/ou diretamente envolvidos na execução de programas de infraestrutura natural na região. Dez pessoas responderam à pesquisa.

Para complementar esses esforços, também solicitamos documentos para analisar e formular o plano de ação. A revisão de documentos se concentrou primariamente em estudos e documentos que descrevessem programas de infraestrutura natural atualmente em atividade no Sistema Cantareira. Sintetizamos esse material para compreender melhor as fontes mais importantes de financiamento, as principais lideranças e partes interessadas envolvidas, os atuais investimentos, os riscos e preocupações cruciais e outras características importantes.

As perguntas do questionário de pesquisa e das entrevistas foram as seguintes:

1. Estamos estruturando esta pesquisa com base em 10 fatores de sucesso identificados no estudo do WRI Como proteger a água potável na fonte. Que fatores são mais importantes para avançar com a agenda da infraestrutura natural no Sistema Cantareira? (Escolha no máximo cinco.)

- Identificar riscos e oportunidades para suporte do projeto. *Desenvolver apoio para enfrentar os fatores que significam riscos imediatos para o abastecimento de água e para a qualidade da água; e aproveitar de momentos políticos que favoreçam essas questões, para avançar esforços da infraestrutura natural.*
- Fortalecer parcerias que ocuparão papéis essenciais. *Formular parcerias colaborativas que se beneficiem das habilidades, dos recursos e das conexões de múltiplas organizações.*
- Desenvolver uma visão de sucesso. *Criar uma visão compartilhada entre atores-chave de um projeto bem-sucedido e desenvolver metas que sejam mensuráveis e alcançáveis.*
- Cultivar líderes e alianças para criar suporte. *Designar e capacitar líderes de agências governamentais que apoiem o projeto e envolver os defensores para ajudarem a formar alianças, alavancar grupos de interesse e criar apoio público para a infraestrutura natural.*
- Desenvolver um plano com base científica para intervenções na bacia hidrográfica. *Criar um plano de trabalho para priorizar importantes intervenções nas bacias hidrográficas com base científica e que diga respeito aos benefícios hidrológicos da proteção florestal ou restauração.*
- Avaliar o foco estratégico para investimento. *Estimar os custos e benefícios financeiros e econômicos do programa para determinar se as empresas fortemente dependentes de água, os gerentes públicos de água e outros podem se beneficiar do programa.*
- Identificar investidores e novos recursos financeiros de longo prazo. *Obter financiamento suficiente para as atividades do programa e envolver um grupo diversificado de investidores.*
- Engajar proprietários e gestores de terra para conservar, restaurar e manejar a infraestrutura natural. *Recrutar e manter a participação de proprietários e gestores de terra públicos e privados.*

- Definir papéis e planos para administrar programas. *Designar pessoal administrativo para fornecer gerenciamento financeiro, comunicação, tomada de decisão e suporte administrativo para o programa.*
- Monitorar a execução e avaliar os impactos do projeto. *Acompanhar o progresso e avaliar a execução do programa pela medição dos benefícios hidrológicos e os benefícios ambientais e sociais dos esforços na infraestrutura natural.*

2. Para cada fator escolhido, você acha que o fator está funcionando bem ou não em SP? Por quê?

3. Algum fator/condição está faltando?

4. Como você vê a infraestrutura natural no Cantareira nos próximos 20-30 anos?

5. A colaboração de parcerias desta agenda está fraca ou forte? Por que você acha? Existem diferenças na abordagem?

6. Numa escala de 1 a 10, qual é a importância de assegurar mais financiamento para a infraestrutura natural nesta bacia? Por quê?

7. Quais fontes de investimento são mais relevantes, quais fontes representam a melhor oportunidade para aumentar o financiamento para a infraestrutura natural? Por exemplo: doações, taxas de água ou financiamento de compensação?

8. Quais ações são necessárias para aumentar o investimento em/ o financiamento da infraestrutura natural em São Paulo?

9. A seu ver, quais os principais problemas relacionados ao financiamento de infraestrutura natural?

10. O que você acredita serem os próximos passos para avançar a agenda da infraestrutura natural no Sistema Cantareira? Quem precisa participar dessas ações?

É crucial assinalar que essas recomendações precisam ainda ser socializadas e testadas pelas principais partes interessadas, especialmente pelos tomadores de decisão do setor hídrico. Dentre os interessados que foram consultados por meio de pesquisas ou entrevistas, 58% eram ONGs ou fundações, 17%, funcionários do governo estadual, 17%, pesquisadores ou especialistas técnicos e 8% eram funcionários do governo federal. A lista de interessados que participaram das pesquisas, entrevistas ou workshops e contribuíram para esta pesquisa encontra-se no Box A1.

Essa lista de partes interessadas locais que contribuíram para o projeto é baseada no registro de presença dos participantes do workshop e nas respostas ao questionário. Muitos outros interessados locais ajudaram a formatar esse projeto por meio de interações informais.

As respostas coletivas e a revisão sintetizada da literatura são apresentadas no Capítulo 3 deste relatório. Para garantir a utilidade e relevância das recomendações, as minutas foram compartilhadas com os parceiros do projeto em duas ocasiões e revisadas com base no feedback.

REFERÊNCIAS

Ozment, S., T. Gartner, K. DiFrancesco, H. Huber-Stearns, N. Lichten, e S. Tognetti. 2016. *Protecting Drinking Water at the Source: Lessons from United States Watershed Investment Programs*. Washington, DC: World Resources Institute.

BOX A1 | PARTES INTERESSADAS LOCAIS QUE CONTRIBUÍRAM PARA ESTA PESQUISA (NOME, ORGANIZAÇÃO)

Marina Peres Barbosa, Agência das Bacias PCJ
 Kátia Rossi Gotardi Piccin, Agência das Bacias PCJ
 Lincoln Muniz Alves, Centro de Ciência do Sistema Terrestre/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)
 Antônio Luiz Lima de Queiroz, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)
 José Eduardo Bevilacqua, CETESB
 Juliana Ortega, CETESB/Programa Nascentes
 Luiz Eré Soares, Coca Cola Brasil
 Guilherme Zaniolo Karam, Fundação Grupo Boticário
 Daniel Eres Rodríguez, INPE
 Mauricio N Santos, Instituto Auá
 Vera Vaitekunas, Instituto Auá
 Claudia Grabilher, Instituto de Estudos do Vale do Tietê
 Aline Ribeiro Machado, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT)
 Deborah Terrell, IPT
 Ana Paula de Souza Silva, IPT
 Celina Xavier de Mendonça, Ministério do Meio Ambiente
 Aline Frederice, Sabesp
 Ana Rucia F.R. Szajubok, Sabesp
 Abílio Gonçalves Jr., Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA)
 Antonio Veloso, SMA
 Araci Kamiyama, SMA
 Débora Orgler de Moura, SMA
 Dylan Rocha, SMA
 Helena Carrascosa von Glehn, SMA
 Lie Shitara Schutzer, SMA/Alto Tietê Gabinete
 Aline Salim, SMA/Programa Nascentes
 Carolina Kors Tiberio, SMA/Programa Nascentes
 Monica Porto, Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo
 Leah Bremer, Stanford University
 Henrique Bracale, The Nature Conservancy (TNC)
 Danilo Pereira Sato, Universidade de São Paulo (USP)
 Humberto Rocha, USP
 Patrícia Pompeu, USP
 WRI Brasil's forest team: Miguel Calmon, Rachel Biderman, Alan Batista, Mariana Oliveira, Marcelo Matsumoto
 Devanir Garcia dos Santos, Agência Nacional de Águas (ANA)
 Marussia Whately, Aliança pela Água
 Ivanildo Hespanhol, USP
 Américo Sampaio, Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos
 Carlos Alberto de Mattos Scaramuzza, Ministério do Meio Ambiente
 Percy Soares Neto, Confederação Nacional da Indústria

APÊNDICE B. MÉTODOS E PREMISSAS PARA MODELOS BIOFÍSICOS E COMPONENTES DO MAPEAMENTO

Este apêndice contém uma visão geral dos métodos de modelagem biofísica, premissas e fontes de dados usados no estudo. Utilizamos os modelos do conjunto de ferramentas InVEST (Natural Capital Project's Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradandoffs) para:

- Criar cenários espaciais do uso da terra no momento inicial e no futuro, que foram usados para fundamentar os portfólios de investimentos na Etapa 2 do Green-Gray Assessment
- Modelar a produção e retenção de sedimentos
- Estimar os fluxos hídricos sazonais nos cenários de uso da terra inicial e futuro

Os modelos aqui utilizados — o modelo InVEST Sediment Delivery Ratio e o modelo Dynamic Water Balance — foram submetidos a revisão por pares (Hamel et al. 2017a, 2017b). Eles foram escolhidos por serem capazes de representar informações explícitas do ponto de vista espacial sobre serviços hidrológicos e alavancar sinergias com um projeto concomitante (ClimateWise 2018).

Cenários espaciais de cobertura da terra usados para definir portfólios de investimentos

Avaliamos cinco cenários de uso da terra, cada um associado a um mapa distinto de uso da terra e com um portfólio de investimentos. Para os cenários de restauração e conservação direcionadas, as áreas-alvo foram primeiramente estabelecidas pelas partes interessadas locais e o modelo InVEST Sediment Delivery Ratio foi usado para o mapeamento espacial de onde esses hectares seriam colocados: os pixels-alvo foram os valores mais altos de exportação de sedimentos no terreno. Para os cenários de conservação, consideramos que essas áreas seriam degradadas na ausência de investimentos em infraestrutura verde. A Tabela B1 apresenta uma visão geral de cada cenário.

Para estimar o custo de oportunidade da restauração ou proteção da terra, consideramos como sendo zero, em nossa análise principal, o custo de oportunidade de todas as terras que o Código Florestal exige que sejam plantadas com florestas, refletindo o que ocorreria se a lei fosse cumprida integralmente. Também variamos o custo de oportunidade na nossa análise de sensibilidade refletir a partir de casos em que não haja um perfeito cumprimento da lei.

Para quantificar os custos de oportunidade, estimamos quais e quantas áreas são regulamentadas como áreas de preservação permanente pelo Código Florestal brasileiro (LEI N° 12.651). Identificamos quantas dessas terras estão presentes e onde no Sistema Cantareira, seguindo os métodos técnicos de criação de cenários para o Código Florestal brasileiro na Cantareira (NCP 2016). As regras gerais que adotamos estão resumidas a seguir.

Tabela B1 | Cenários de uso da terra utilizados no estudo

CENÁRIO DE USO DA TERRA	DESCRIÇÃO
Cenário referencial	Uso atual da terra/cobertura da terra (resolução = 20 metros [m]). Ano 2010. Dados fornecidos pela organização The Nature Conservancy.
Floresta total	Todo o território, incluindo áreas atualmente desenvolvidas, é coberto por florestas. Esse cenário representa o limite superior do efeito do florestamento.
Pastagem total	Todo o território, incluindo áreas atualmente desenvolvidas, é convertido em pastagem. Esse cenário representa o limite superior do efeito do desmatamento.
Restauração direcionada	Restauração do território com área de conservação alvo de 4.000 hectares. As áreas prioritárias foram identificadas com base no impacto mais alto sobre a exportação de sedimentos.
Desmatamento	Desmatamento do território em uma área de 1.900 ha, com base na projeção da taxa histórica de desmatamento na região (ver detalhes no Apêndice C). Esse cenário foi usado para selecionar áreas prioritárias para conservação com base nos pixels de áreas florestais com maior índice de retenção de sedimentos.

Fonte: Autores.

As áreas desmatadas foram classificadas como pré-2008 ou pós-2008 (com base nos dados de Hansen et al. 2013).

Para as áreas desmatadas pós-2008, as APPs incluíram:

- Encostas >45 graus
- Altitude >1.800 m
- Lagos naturais e reservatórios artificiais
 - Em áreas rurais:
 - >20 ha de área, zona tampão de 100 m
 - ≤20 ha de área, zona tampão de 50 m
 - Em áreas urbanas, zona tampão de 30 m
- Pântanos e mananciais, zona tampão de 50 m
- Colinas
- Zonas tampão para córregos:
 - Pequenos córregos (até 10 m de largura), zona tampão de 30 m
 - Córregos médios (10 a 50 m de largura), zona tampão de 50 m

Para todas as demais áreas desmatadas, as APPs incluem:

- Encostas >45 graus
- Altitude >1.800 m
- Colinas
- Zonas tampão para córregos: 15 m (pequenos proprietários de terras) ou 30 m (grandes proprietários de terras)
- Pântanos, zona tampão de 30 m (pequenos proprietários de terras) ou 50 m (grandes proprietários de terras)
- Mananciais, zona tampão de 15 m
- Lagos/lagoas, zona tampão de 15 m (pequenos proprietários de terras) ou 30 m (grandes proprietários de terras)

Outros detalhes sobre o cálculo dos custos de oportunidade encontram-se no Apêndice C.

Tabela B2 | Resumo dos dados de entrada para o modelo de sedimentos

DADO DE ENTRADA	DESCRIÇÃO	FONTE
Índice de erosividade da chuva (R-Factor)	Uma matriz de dados (raster) de um sistema de informação geográfica (SIG) com um valor de índice de erosividade para cada célula. Essa variável depende da intensidade e da duração da chuva na área em estudo.	Xavier et al. 2016 Oliveira et al. 2013
Erodibilidade do solo (K-Factor)	Uma matriz de dados (raster) de SIG com um valor de erodibilidade do solo para cada célula. Esta é uma medida de quanto as partículas do solo são suscetíveis de se destacarem e serem transportadas pela chuva e vazão.	TNC*
Modelo Digital de Elevação (DEM)	Uma matriz de dados (raster) de SIG com um valor de elevação para cada célula (resolução = 30 m). O DEM foi preenchido com uma rotina em SIG para facilitar o roteamento.	Matriz de dados obtida da TNC*
Uso da terra/cobertura da terra (LULC)	Uma matriz de dados (raster) de SIG com um código LULC inteiro para cada célula.	São Paulo: TNC* Ver Tabela B3
Tabela biofísica	Uma tabela .csv que contém informações do modelo correspondentes a cada uma das classes de uso da terra. Inclui um fator de cobertura e manejo do solo (C) e um fator de práticas de suporte (P), dois fatores da Equação Universal de Perdas de Solo usados no modelo InVEST de sedimentos.	Da base de dados paramétricos InVEST para o Brasil (Ver Tabela B3)

Nota: *Esses dados de entrada foram obtidos da organização The Nature Conservancy Brasil.

Fonte: Autores.

Tabela B3 | Fatores de cobertura e manejo do solo (Fatores C) usados neste estudo, com base em uma revisão dos estudos contidos na base de dados paramétricos InVEST

TIPO LULC	FATORES C
Curso d'água	0,0001
Terra árida	0,01
Mata fechada	0,009
Floresta plantada	0,009
Agricultura	0,16
Pastagem	0,04
Campo e cerrado	0,02
Arbustos naturais	0,01
Urbano	0,01
Pântano	0,001

Fonte: Autores.

Modelagem de sedimentos

Contexto

O objetivo do exercício de modelagem de sedimentos foi determinar a variação na retenção de sedimentos na área em estudo-em outras palavras, os sedimentos que foram impedidos de entrar no Cantareira-decorrente dos portfólios de investimentos (comparação com as condições basais). Esse exercício nos permitiu estimar os custos de controle de sedimentos evitados pelos operadores de infraestrutura hídrica.

Usamos o modelo InVEST Sediment Delivery Ratio v3.1 (Sharp et al. 2016) para estimar a redução na exportação de sedimentos (toneladas por quilômetro quadrado por ano, ou toneladas/km2/ano) para os reservatórios da área em estudo, para cada cenário de uso da terra. Esse modelo mapeia a geração anual de sedimentos na superfície e seu carreamento para córregos ou para um reservatório de entrada, por isso é uma ferramenta valiosa para estimar a retenção de sedimentos por uma bacia hidrográfica. É um modelo espacialmente explícito que funciona na resolução da matriz de entrada do Modelo Digital de Elevação (MDE). Para cada pixel, o modelo computa as perdas de solo e o fator Razão de Transferência de Sedimentos, ou seja, a proporção de solo erodido que alcança o córrego com base na posição do pixel no terreno e o uso da terra/cobertura da terra (LULC) ao redor.

Dados de entrada

As fontes de dados para o modelo de sedimentos são descritas nas Tabelas B2 e B3. Os fatores de práticas (P-Factors) que levam em conta os efeitos do preparo em contorno, da aragem etc. são definidos como 1 para todos os tipos de LULC.

Tabela B4 | Atual cobertura da terra no Sistema Cantareira

	SUB-BACIA	ÁREA (HA)	MATA NATIVA (%)	PASTAGEM (%)	FLORESTA PLANTADA (%)	AGRICULTURA (%)	URBANO (%)	TERRA NUA (%)
BACIAS PCJ	Barragem do Jaguari	103.277	19	59	16	1	2	0
	Barragem do Jacareí	20.235	14	53	8	2	3	1
	Represa do Rio Cachoeira	39.248	20	44	34	0	1	0
	Represa Atibainha	31.741	28	34	30	0	2	0
BACIA DO ALTO TIETÊ	Represa Paiva Castro	31.400	42	27	18	0	10	0
	Represa Águas Claras	2.321	59	15	13	0	13	0
TOTAL	228.222	24	47	21	1	3	0	

Fonte: TNC 2010.

Avaliação da incerteza

Dada a escassez de informações sobre a produção de sedimentos no longo prazo na região, é difícil verificar o desempenho do modelo em grande escala. Na Tabela B5, apresentamos uma lista das fontes mais importantes de incerteza que podem afetar nossos principais resultados e a diferença relativa entre os cenários.

Erros nos dados do modelo. Avaliamos o efeito de erros nos dados do modelo conduzindo análises de sensibilidade simples sobre o Fator C e os dados de erosividade. Testes preliminares identificaram o Fator C para pastagem como um parâmetro sensível, e testamos a sensibilidade do modelo a uma alteração importante desse parâmetro (-50% e +200%). O resultado foi uma variação média na exportação de sedimentos de -24% e +75%. Além disso, estimamos que os dados de erosividade obtidos da relação empírica para o Brasil desenvolvida por Oliveira et al. (2013) tenham limites de incerteza de +/-40%, o que se traduz diretamente na incerteza da exportação de sedimentos. Os valores de erodibilidade também têm, tipicamente, muita incerteza (ver

valor em Hamel et al. 2015). Observamos que o viés em erosividade e erodibilidade não afeta os resultados relativos, já que todos os cenários são afetados de modo semelhante por esses erros.

Estrutura do modelo e dados de verificação. O modelo InVEST usado neste estudo tem limitações conhecidas relacionadas ao seu foco na erosão laminar (ignorando outras fontes de sedimentos) e ao seu processo de calibração simples, o que afeta o contraste entre as porções de terra próximas aos córregos e as mais distantes (ou seja, a capacidade de retenção da superfície). Na realidade, essa calibração requer informações sobre o balanço sedimentar, ou seja, a proporção de sedimentos provenientes da erosão de encostas *versus* outras fontes de sedimentos (erosão de canais e possível legado de sedimentos do leito fluvial). Na falta de tais dados, usamos o modelo conceitual InVEST, que foi validado em outras regiões quanto à sua capacidade de representar as mudanças no uso da terra (Hamel et al. 2017a). Para verificar se os resultados são realistas, usamos a produção local de sedimentos conforme descrito no próximo parágrafo.

Tabela B5 | Principais fontes de incerteza para o resultado do modelo InVEST de sedimentos

TIPO	FONTE DE INCERTEZA	IMPORTÂNCIA
Dados	Erosividade e erodibilidade	Média: Erros em erosividade e erodibilidade podem ser compensados pela calibração do modelo sem afetar os resultados relativos (diferença relativa entre cenários). O efeito dessa incerteza nos resultados obtidos com o modelo é estimado por garantia de qualidade (ver adiante).
Dados	Valor do C-Factor	Alto para usos da terra dominantes (por exemplo, floresta). Essa incerteza é avaliada por análises de sensibilidade (ver adiante).
Estrutura do modelo	Sem inclusão dos depósitos fluviais e outras fontes de erosão	Alta: O modelo se concentra no efeito do uso da terra sobre a exportação de sedimentos e ignora outras fontes de sedimentos, como erosão nas margens ou deslizamentos de terra.
Estrutura do modelo	Robustez quanto à variação no uso da terra	Média: O modelo foi validado em outras regiões quanto à sua capacidade de representar as mudanças no uso da terra. ^a

Nota: ^a Hamel et al. 2017a.

Fonte: Autores.

Calibração/verificação do modelo de sedimentos

Os dados sobre erosão e produção de sedimentos na região são escassos. Para verificação e calibração do modelo, usamos duas fontes de dados. Primeiramente, obtivemos os dados de Saad (2016), que calculou a média de exportação de sedimentos de 2010 a 2015 na bacia hidrográfica de Posses (localizada em Extrema, Minas Gerais, nos limites superiores do Sistema Cantareira). Saad usou medidas de turbidez e séries de caudais da Agência Nacional de Águas do Brasil e estimou a exportação de sedimentos em cerca de 135,6 toneladas/km²/ano. Essa estimativa tem amplos limites de incerteza, em parte por conta da frequência e duração da amostragem. Para quantificar essa incerteza, usamos uma relação diferente entre turbidez e sólidos suspensos totais, extraída de Teixeira et al. (2016) e verificamos que o erro na exportação de sedimentos pode chegar a 40%. Em segundo lugar, usamos uma fonte diferente de dados de turbidez da bacia hidrográfica do Alto Jaguari (JAGR00005), obtidos da Universidade de São Paulo: a exportação anual de sedimentos foi estimada em cerca de 11 toneladas/km²/ano, com base na relação SST-turbidez de Teixeira et al. (2016).

Calibramos o modelo InVEST com base na estimativa de sedimentos da sub-bacia hidrográfica de Posses, obtida de Saad (2016). O parâmetro de calibração (kb) foi definido como 1, o que gerou um valor do modelo calibrado de 112 toneladas/km²/ano para toda a bacia hidrográfica do Jaguari. Esse valor está na faixa superior das estimativas regionais (11–136 toneladas/km²/ano), o que parece possível, já que os depósitos de sedimentos fluviais são mais prováveis na bacia hidrográfica maior do Jaguari. (Como esse processo não é representado pelo modelo InVEST, o modelo provavelmente superestima a exportação de sedimentos quando é calibrado com base em uma bacia hidrográfica pequena, como a de Posses.)

Resultados

Os resultados do exercício de modelagem da exportação de sedimentos são apresentados na Tabela B6 e no Capítulo 2. A Tabela B6 apresenta os valores de exportação de sedimentos para cada cenário de uso da terra e para cada sub-bacia hidrográfica da área em estudo. A variação estimada para o cenário de 4.000 ha é geralmente grande, indicando que uma área relativamente pequena contribui com uma grande proporção dos sedimentos. Os valores diferem de uma bacia

hidrográfica para outra, já que as áreas de restauração são definidas para o território total, e não como um percentual semelhante por bacia hidrográfica.

Modelagem do fluxo de base

O objetivo da modelagem do fluxo de estiagem foi avaliar o impacto da conservação da floresta na disponibilidade hídrica sazonal na Represa Jaguari. Para contextualizar essas análises, destacamos dois pontos. Primeiramente, o Sistema Cantareira que abastece São Paulo engloba muitos reservatórios, o que afeta o benefício de um maior fluxo de estiagem (já que a cronologia da disponibilidade hídrica é influenciada pela água armazenada disponível). Em segundo lugar, a literatura científica reconhece importantes limitações na modelagem hidrológica das mudanças no uso da terra nos trópicos (Filoso et al. 2017). Essas limitações são devidas ao estado da ciência (regiões tropicais tendo recebido menos atenção que regiões temperadas) e às limitadas informações específicas do local (por exemplo, características arbóreas, dados hidrológicos de longo prazo para estudo do comportamento das bacias hidrográficas). Isso implica que esse exercício de modelagem hidrológica precisará ser interpretado com cautela, com um grau de incerteza associado.

Com respeito à modelagem hidrológica, a questão de interesse é se o nível de água no reservatório ultrapassa algum limiar de gerenciamento nos cenários de gestão da terra estudados, ou seja, onde uma tendência física criará um obstáculo que terá alto custo para ser resolvido ou exigirá gastos de capital. Por exemplo, nesse contexto, um limiar pode ser o nível do reservatório no qual seja alcançado o volume morto e seja necessário instalar tubulações temporárias para continuar a produção.

Em razão dos recursos e dados limitados, neste estudo usamos um modelo mensal simples para representar o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas de São Paulo e estimar o potencial de influência das soluções naturais nos níveis de água dos reservatórios. Vale ressaltar que está em andamento um estudo que usa a Ferramenta de Avaliação de Solo e Água [sigla em inglês, SWAT] (Domingues 2017) para representar o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do Alto Jaguari e investigar os efeitos das mudanças climáticas e no uso da terra sobre os níveis de água dos reservatórios.

Tabela B6 | Produção de sedimentos em cinco bacias hidrográficas do Sistema Cantareira por cenário de uso da terra

SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS DO CANTAREIRA	ÁREA (KM ²)	PS ^a (TONELADAS/ KM ² /ANO)	PS MODELADA (TONELADAS/KM ² / ANO)	VARIÇÃO NA PS (%)	
			CENARIO REFERENCIAL	R4000	C1900
Jaguari	1.032	11–136	112	-81%	4%
Cachoeira	391	N/A	54	-50%	10%
Jacareí	203	N/A	91	-83%	4%
Atibainha	315	N/A	26	-41%	8%
Paiva Castro	338	N/A	50	-69%	10%

Nota: ^a PS, produção de sedimentos.

Fonte: Autores.

Modelagem hidrológica

Para representar a variação na disponibilidade hídrica na Represa Alto Jaguari decorrente das mudanças no uso da terra, acoplamos um modelo mensal de bacia hidrográfica (modelo Dynamic Water Balance) a um modelo de reservatório (Hamel et al. 2017; Zhang et al. 2008).

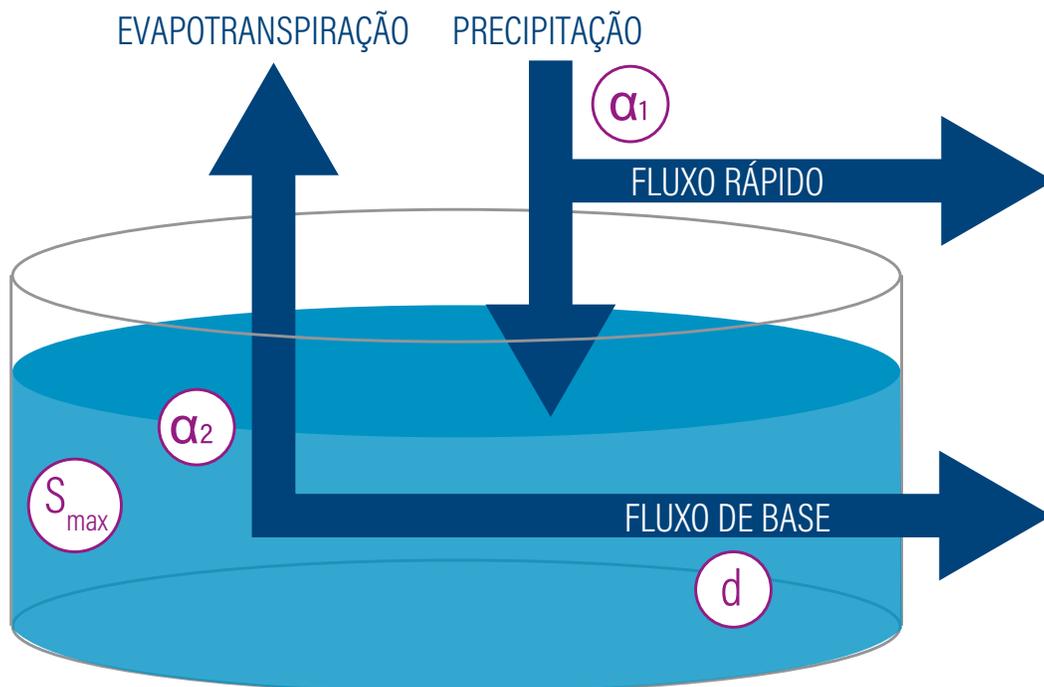
Descrição do modelo Dynamic Water Balance: Modelo mensal de chuva-vazão usado em estudos de gerenciamento de represas (Kirby et al. 2014). Ele representa a bacia hidrográfica como um simples balde, repartindo a precipitação em vazão superficial, fluxo subterrâneo e evapotranspiração. Quatro parâmetros governam essas relações: α_1 e α_2 governam a repartição entre vazão superficial e infiltração, e entre recarga de lençol freático e evapotranspiração, respectivamente; S_{max} representa o armazenamento máximo no solo e governa o ritmo de liberação do lençol freático (ver Figura B1 e Wang et al. 2008); e "d" é a constante de tempo de armazenamento no lençol freático, caracterizando a velocidade de drenagem do lençol freático, ou seja, a liberação do armazenamento no lençol freático para o fluxo de estiagem.

Calibração do modelo Dynamic Water Balance: Calibramos o modelo para o gabarito da Sabesp no exutório da bacia hidrográfica do Jaguari (Domingues 2017). Utilizamos dados médios mensais observados e calibramos os quatro parâmetros do modelo minimizando a eficiência de Nash-Sutcliffe com o R-package SCE-UA. O modelo de vazão mensal foi capaz de representar o comportamento hidrológico médio da bacia do Jaguari (Figura B2, $r_2 = 0,96$ entre os valores de fluxo mensal previstos e observados).

Captação de neblina: A capturação de neblina é um dado significativo para o equilíbrio hídrico nas bacias hidrográficas do nosso estudo. Para levar em conta a contribuição da neblina, testamos o modelo Dynamic Water Balance com aumento de 5% na precipitação ao longo do ano. A premissa para os dados de precipitação relativa foi baseada nos resultados obtidos do modelo WaterWorld (Mulligan 2013), que sugerem que, em média, a capturação de neblina é de 5,2% (mínimo 2,9%, máximo 10,2%) da precipitação na floresta nublada do Cantareira (Pompeu 2018). O modelo sugere também que cerca de 5% do Cantareira reúnem as condições de floresta nublada (incluindo 10% da bacia hidrográfica do Alto Jaguari), o que significa que as atividades de restauração (4.000 ha, cerca de 4% do Cantareira) poderiam ser implementadas inteiramente em áreas onde pode ocorrer capturação de neblina.

Avaliação de cenários: Utilizamos a vazão do modelo Dynamic Water Balance (fluxo superficial e subterrâneo) como dado para o modelo de reservatório em três cenários: atual (referencial), 100% de cobertura florestal e 100% de pastagem. O primeiro cenário é representado pelos parâmetros do modelo calibrado. O segundo cenário é representado definindo-se um valor elevado para o parâmetro uso da terra (0,9), o que corresponde a alta infiltração (Hamel et al. 2017b). Para o terceiro cenário, por outro lado, usados um valor baixo para o parâmetro uso da terra (0,3), correspondente a uma vazão maior e uma evapotranspiração menor, típicas de pastagens degradadas (Figura A2). O cenário realista (restauração de 4.000 ha, R4000) é obtido computando-se a média ponderada por área do caudal ou do fluxo de estiagem nos cenários referencial e de 100% de cobertura. Quatro mil hectares representam 1,75% da área total da bacia do Cantareira (228.000 ha), por isso o efeito hidrológico da restauração é pequeno.

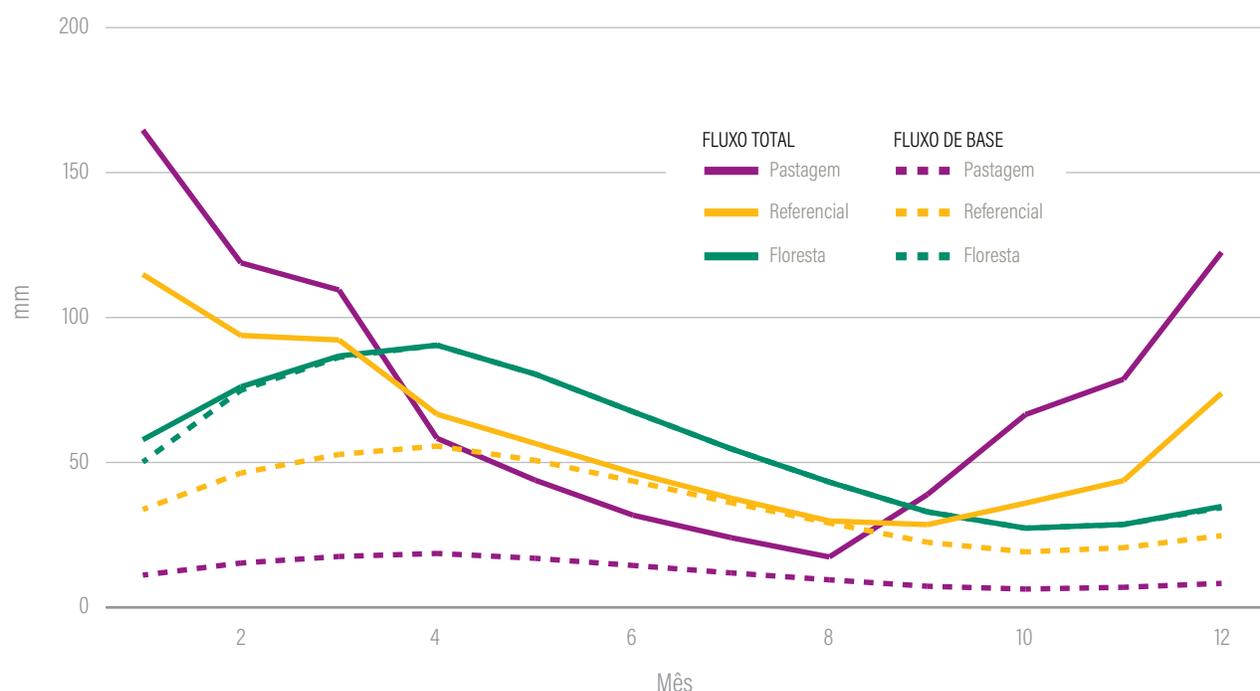
Figura B1 | Representação esquemática do modelo Dynamic Water Balance



Notas: S_{max} é a capacidade máxima de armazenamento da bacia de capturação; α_1 é a retenção da bacia de capturação, que afeta a repartição da precipitação em vazão direta e água disponível na reserva de umidade do solo (S) para evapotranspiração e recarga do lençol freático; α_2 é a eficiência de evapotranspiração, que afeta a repartição da água do solo em armazenamento, recarga e evapotranspiração real; d é a constante de tempo de armazenamento do lençol freático.

Fonte: Hamel et al. 2017a.

Figura B2 | Comparação entre o caudal mensal e o fluxo de estiagem nos cenários referencial, pastagem e floresta



Fonte: Autores.

Modelo de reservatório

Usamos também um modelo de reservatório para ilustrar o papel da infraestrutura construída (especificamente a Represa Jaguari) no armazenamento do excesso de água de superfície da estação chuvosa para que essa água esteja disponível para uso e consumo durante a estiagem. Esse modelo se concentrou apenas na sub-bacia hidrográfica do Jaguari do Sistema Cantareira, mas seus resultados são relevantes para todo o sistema, onde as características topográficas e biofísicas são semelhantes. O modelo parte do volume de afluente da bacia hidrográfica para o reservatório, depois subtrai, para cada mês, a água desviada para o município e perdida por evaporação ou infiltração. Os resultados são a água total fornecida e o nível de água no reservatório. Ver informações adicionais sobre as características dos reservatórios do Cantareira no Apêndice C:

- Área de drenagem da bacia hidrográfica: 1.031 km² (Domingues 2017)
- Armazenamento no reservatório: 0,808 km³
- Desvio da água (demanda): 25,2 metros cúbicos por segundo (m³/s)

Com a premissa simplificada de uma demanda constante, o modelo ilustra o papel do reservatório no armazenamento de água durante a estação chuvosa para uso na estiagem. Modelamos a operação média do reservatório no longo prazo usando dados de média mensal de precipitação e evapotranspiração (Xavier et al. 2016). Para descartar o efeito das condições iniciais, usamos um período de aquecimento de sete anos, começando com um reservatório na metade da capacidade e trazendo o sistema ao estado de equilíbrio.

O ARMAZENAMENTO NO RESERVATÓRIO É ATUALIZADO MENSALMENTE, FECHANDO-SE O BALANÇO HÍDRICO:

Equação 1

$$SR(m + 1) = \text{MIN}(SR_{max}, SR(m) + Q(m) - E(m) - L(m) - D(m))$$

ONDE:

- SR** é o volume mensal armazenado;
- SR_{max}** é o volume armazenado no reservatório;
- Q** é o influxo vindo da bacia hidrográfica;
- E** é a evaporação da água do reservatório;
- L** é a perda de água por infiltração; e
- D** é o volume desviado.

Todos os valores são médias anuais em m³.

O volume desviado, D ($m^3/mês$), corresponde à água fornecida mensalmente ao município. Esse valor é definido como constante ao longo do ano, com base na taxa média de fluxo obtida da Sabesp. Quando D era maior que o armazenamento no reservatório, usamos uma simples operação matemática, dividindo a demanda por 2 até que a demanda pudesse ser satisfeita.

"E" E "L", IN M^3 , SÃO FUNÇÕES DO ARMAZENAMENTO MENSAL:

Equação 2

$$E = 0.7 * ETO/1000 * A$$

Equação 3

$$L = \frac{k_h}{10} * 24 * \frac{30}{1000} * A$$

ONDE:

A é a área do reservatório, em m^2 ; e

k_h é a condutividade hidráulica do solo em centímetros por hora (cm/h), estimada em cerca de $3,6 * 10^{-6}$ cm/h (limo).

PARA ESTIMAR A ÁREA DO RESERVATÓRIO A PARTIR DO VOLUME ARMAZENADO, USAMOS A RELAÇÃO DESENVOLVIDA POR RODRIGUES E LIEBE (2013) (USADA AQUI COM VALORES DE COEFICIENTES MÉDIOS):

Equação 4

$$V = 0.003 * A^{1.67}$$

O EXTRAVASAMENTO MENSAL (QUANTIDADE DE ÁGUA QUE EXTRAVASA DO RESERVATÓRIO, $M^3/MÊS$) PODE SER COMPUTADO COMO:

Equação 5

$$Spill(m) = MAX(0, SR(m) + Q(m) - E(m) - L(m) - D(m) - SRmax)$$

No cenário de pastagem, os benefícios da menor infiltração (baixando o fluxo de estiagem) foram compensados pela diminuição da evapotranspiração, o que resultou em maior vazão total na bacia hidrográfica. Portanto, tanto o cenário de floresta quanto o de pastagem podem satisfazer a demanda em nosso modelo simplificado do sistema. No entanto, o aumento do fluxo de estiagem previsto pelo modelo para os cenários de floresta é maior durante os meses de seca (ou seja, junho a agosto) e poderia ser útil em caso de falta d'água na estiagem.

Avaliação da incerteza

O modelo acoplado de bacia hidrográfica-reservatório tem muitas limitações importantes pela escassez de dados e tempo para as análises: particularmente, o modelo usou dados médios mensais, e não dados seriados de longo prazo, que levariam em conta a variabilidade interanual, e as operações do reservatório foram simplificadas (com uma demanda hídrica constante e a premissa de que a demanda mensal é reduzida à metade quando o volume armazenado no reservatório é insuficiente.)

O modelo é usado aqui para fins ilustrativos, registrando o simples efeito dinâmico da restauração ou do desmatamento no balanço hídrico, com a bem conhecida necessidade de escolher infiltração ou evapotranspiração, bem como a redução geral da vazão total da bacia hidrográfica. Nesse contexto, a avaliação quantitativa da incerteza se concentra em duas fontes de incerteza: os dados sobre o clima e a estrutura do modelo (representação de processos hidrológicos).

Mudanças climáticas: As projeções climáticas para a região de São Paulo sugerem aumento das temperaturas médias, mas não são conclusivas quanto à precipitação-alguns modelos preveem aumento, outros preveem diminuição até a década de 2050 (Schneider 2017).

Para avaliar o efeito do aumento da temperatura nos resultados do modelo, aplicamos o modelo a mais um cenário, correspondente a 10% de aumento na temperatura. O modelo previu que essa variação diminuiria o caudal total e o fluxo de estiagem em 7%.

Modelos alternativos: Para avaliar as incertezas estruturais do modelo, aplicamos outro modelo baseado nos modelos InVEST de produção anual de água (PAA) e produção sazonal de água (PSA), a fim de avaliar diferenças no fluxo de estiagem anual entre os três cenários (atual, floresta e degradado). Esses modelos computaram o balanço hídrico anual da bacia hidrográfica. Especificamente, usamos o modelo PAA para prever o caudal total (Q) e o modelo PSA para o caudal rápido (QF).

COMPUTAMOS, ENTÃO, O FLUXO DE ESTIAGEM PARA CADA CENÁRIO COMO:

Equação 6

$$B = Q - QF$$

O modelo alternativo também prevê um efeito muito pequeno do cenário-alvo no fluxo de estiagem: -1% de variação para a bacia hidrográfica do Jaguari com possibilidade de -9% a +7%, dada a incerteza do modelo.

REFERÊNCIAS

ClimateWise. 2018. Site do projeto. <http://environment.umn.edu/discovery/gwi/our-work/climatewise>.

Domingues, L. 2017. Comunicação pessoal entre Perrine Hamel e L. Domingues.

Filoso, S., M.O. Bezerra, K.C.B. Weiss, e M.A. Palmer. 2017. "Impacts of Forest Restoration on Water Yield: A Systematic Review." *Plos One* 12 (8): e0183210.

Hamel, P., R. Chaplin-Kramer, S. Sim, e C. Mueller. 2015. "A New Approach to Modeling the Sediment Retention Service (InVEST 3.0): Case Study of the Cape Fear Catchment, North Carolina, USA." *Science of the Total Environment* 524–525: 166–77.

Hamel, P., K. Falinski, R. Sharp, D. Auerbach, J.P. Dennedy-Frank, e M. Sanchez-Canales. 2017a. "Sediment Delivery Modeling in Practice: Comparing the Effects of Watershed Characteristics e Data Resolution across Hydroclimatic Regions." *Science of the Total Environment* 580: 1381–88.

Hamel, P., A. Guswa, J. Sahl, e L. Zhang. 2017b. "Predicting Dry-season Flows with a Monthly Rainfall-Runoff Model: Performance for Gauged e Ungauged Catchments." *Hydrological Processes* 31 (22): 3844–58.

Hansen, M., P. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau et al. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342: 850–53. Updated dataset 2000–15 from Hansen available at Global Forest Watch, www.globalforestwatch.org.

Kirby, J., J. Connor, M. Ahmad, L. Gao, e M. Mainuddin. 2014. "Climate Change and Environmental Water Reallocation in the Murray-Darling Basin: Impacts on Flows, Diversions and Economic Returns to Irrigation." *Journal of Hydrology* 518: 120–29.

Mulligan, M. 2013. "WaterWorld: A Self-Parameterising, Physically Based Model for Application in Data-poor but Problem-rich Environments Globally." *Hydrology Research* 44 (5): 748.

NCP (Natural Capital Project). 2016. "Technical Methods for Creating Scenarios for Brazil's Forest Code in Cantareira." Contato: Perrine Hamel, Perrine.hamel@stanford.edu.

Oliveira, P., E. Wendle, e M. Nearing. 2013. "Rainfall Erosivity in Brazil: A Review." *Catena* 100: 139–47.

Pompeu, P. 2018. Comunicação pessoal entre os autores e Patricia Pompeu, Postdoctoral Researcher, Universidade de São Paulo.

Rodrigues, N.L., e J. Liebe. 2013. "Small Reservoirs Depth-Area-Volume Relationships in Savannah Regions of Brazil e Ghana." *Water Resources e Irrigation Management* 2 (1): 1–10.

Saad, S. 2016. *Modelagem e valoração dos serviços ambientais hidrológicos na recuperação da vegetação no Ribeirão das Posses, Extrema, MG*. PhD Dissertation. Universidade de São Paulo. 169f.

Schneider, C. 2017. Comunicação pessoal entre Perrine Hamel e Christoph Schneider, University of Kassel.

Sharp, R., H. Tallis, T. Ricketts, A. Guerry, S. Wood, e R. Chaplin-Kramer. 2016. *InVEST User's Guide*. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, e World Wildlife Fund. <http://data.naturalcapitalproject.org/nightly-build/invest-users-guide/html/>.

Teixeira, L., J. Batista, D. de Paiva, J. Eduardo, e R. Lisbôa. 2016. "Relationship between Turbidity e Suspended Sediment Concentration from a Small Hydrographic Basin in Santa Maria (Rio Grande do Sul, Brazil)." *International Journal of River Basin Management* 14 (4): 393–99.

Wang, X., P. Gassman, J. Williams, S. Potter, e A. Kemanian. 2008. "Modeling the Impacts of Soil Management Practices on Runoff, Sediment Yield, Maize Productivity, and Soil Organic Carbon Using APEX." *Soil & Tillage Research* 101 (1–2): 78–88.

Xavier, A., C. King, e B. Scanlon. 2016. "Daily Gridded Meteorological Variables in Brazil (1980–2013)." *International Journal of Climatology* 36: 2644–59.

Zhang, L., N. Potter, K. Hickel, Y. Zhang, e Q. Shao. 2008. "Water Balance Modeling over Variable Time Scales Based on the Budyko Framework: Model Development and Testing." *Journal of Hydrology* 360 (1–4): 117–31.

APÊNDICE C. MÉTODO DE ANÁLISE FINANCEIRA E PREMISSAS

Este apêndice fornece informações detalhadas sobre os métodos empregados para estimar custos e benefícios na análise de retorno sobre o investimento para São Paulo, além das premissas de base e fontes de dados. As informações são fornecidas em seis seções, seguindo as etapas do Green-Gray Assessment: premissas gerais do modelo, modelagem de sedimentos, valoração de custos, valoração de benefícios, modelo financeiro e análise de custo-benefício, análise de sensibilidade e mudanças climáticas.

Premissas gerais do modelo

As premissas gerais definem as principais condições do modelo de retorno sobre o investimento e correspondem aos dados necessários conforme a Etapa 2 do método Green-Gray Assessment, incluindo o horizonte de tempo da análise (ou seja, o horizonte de planejamento), a taxa de desconto, o sequenciamento de intervenções de infraestrutura e as premissas sobre tendências contrafactuais relevantes para a análise do ROI.

Restauração assistida (com plantio total ou completo) vs. natural

A restauração pode ser alcançada por vários métodos (por exemplo, restauração assistida ou regeneração natural), o que implica diferentes investimentos e custos de operação e manutenção, dependendo do método usado (Instituto Escolhas 2016). A seleção do método mais adequado depende dos atributos biofísicos da área de estudo, como tipo de solo, declividade, aspecto, vertente, vetores ecológicos, como bancos de sementes, projeto de paisagem e restrições econômicas e demográficas (Antoniazzi et al. 2016). Em muitos casos essas características favorecem sobremaneira a regeneração natural (Rezende et al. 2015; Chazdon & Uriarte 2016; Strassburg et al. 2016). Nesses casos, uma intervenção simples, como cercar área, pode ser suficiente para garantir o processo de restauração. Por outro lado, uma restauração assistida pode ser necessária em áreas de baixo potencial; diversas intervenções são usadas em projetos de restauração assistida, como cercar a área, preparar ativamente o solo, usar fertilizantes e pesticidas, plantar mudas e, em casos extremos, usar irrigação.

Para definir a proporção de restauração assistida *versus* regeneração natural para São Paulo, desenvolvemos mapas de áreas com "alto potencial de regeneração" e sobreposamos essas áreas ao mapa de áreas prioritárias para a retenção de sedimentos, conforme detalhado no Apêndice B. Consideramos que as áreas prioritárias que se sobrepõem às áreas com alto potencial de regeneração podem se valer da regeneração natural, enquanto a restauração assistida seria necessária para as demais áreas. Para desenvolver os mapas de potencial de regeneração, primeiramente, áreas de restauração registradas por Hansen et al. (2013) como aquelas em que houve aumento consistente da densidade florestal entre 2000 e 2012 (ou seja, áreas em que num determinado ano houve detecção de aumento da densidade florestal e nenhum declínio a partir desse). Depois, consideramos zonas tampão de 150 m em distância euclidiana de cada pixel restaurado como sendo zonas de alto potencial de restauração. Nossa premissa foi de que para cada um dos pixels que haviam sido reflorestados entre 2000 e 2012, os oito pixels circunjacentes tinham alto potencial de restauração. Essa premissa se baseou em muitos estudos conduzidos na Mata Atlântica que constataram que os principais fatores determinantes de restauração são posição topográfica, declividade, radiação solar, tipo de solo e distância da floresta existente, características que persistem, em média, num raio de 180 m do ponto central onde foi detectada tal característica (Rezende et al. 2015; Chazdon & Uriarte 2016; Strassburg et al. 2016).

Cronograma de implementação

Consideramos que a restauração seria implementada ao longo de 10 anos, segundo um cronograma fornecido pela TNC e o Fundo de Água para São Paulo, baseado em duas experiências de implantação de restauração local. Também consideramos que as despesas de operação e manutenção (O&M) da infraestrutura natural ocorrem durante os três primeiros anos após a implementação, com base na orientação da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA 2014). O sequenciamento da restauração durante o período de 10 anos é apresentado na Tabela C1.

Para o nosso portfólio de investimentos C1900, no qual 1.900 hectares são protegidos de desmatamento, consideramos que toda a proteção seria garantida no primeiro ano, de modo a garantir que todos os hectares sejam protegidos ao longo dos 30 anos de horizonte do projeto.

Tabela C1 | Cronograma de restauração

ANO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R4000 (ha)	16	33	164	328	492	607	656	656	656	393

Fonte: Autores.

Tendências utilizadas

Demanda por água

Segundo o Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo (DAEE 2013), atualmente a disponibilidade e demanda hídrica no Sistema Cantareira é de 33 m³/s, podendo crescer para 37 m³/s até 2035 (ver Tabela C2). No entanto, o Cantareira é um dos oito sistemas hídricos integrados que fornecem, em conjunto, 68,2 m³/s de água tratada para a Grande São Paulo. Como esses sistemas são altamente interdependentes, é difícil estimar quanto o Sistema Cantareira contribuirá, sozinho, para atender à demanda hídrica futura da região (ANA 2010).

Tabela C2 | **Projeção da demanda por água no Sistema Cantareira**

ANO	Demanda URBANA (m ³ /s)
2008	31,35
2018	34,52
2025	35,90
2035	37,04

Fonte: DAEE 2013.

Como o horizonte da nossa análise é de 30 anos, usamos as projeções de demanda do DAEE (2013) e extrapolamos para 2047 com base na equação do próprio órgão.

A EQUAÇÃO 7 DE DEMANDA DO DAEE É:

Equação 7

$$DU_y = -0,0059705882x^2 + 24,3489725541x - 24.787,5814445039$$

ONDE:

DU é a demanda urbana por água;

e **x** é o ano.

Usando a equação fornecida pelo DAEE, estimamos uma demanda esperada por água de 33,67 m³/s em 2015 e 36,91 m³/s em 2045, o que mostra um aumento de 9,66% ao longo dos 30 anos, ou 0,31% de crescimento anual (comparado ao crescimento de 0,35% ao ano da população, estimado pelo IPEA 2017).

Conservação (áreas de floresta degradadas)

Para determinar a área relevante para conservação florestal, criamos um cenário referencial alternativo no qual o desmatamento continua, em ritmo proporcional ao do desmatamento médio de 2001 a 2013, com base em Hansen et al. (2013). A projeção de tendências de desmatamento históricas recentes tem limitações: não leva em conta quaisquer possíveis futuras políticas de uso da terra, crescimento populacional ou mudanças na demanda por commodities que poderiam ter impacto na taxa de desmatamento. No entanto, não há dados-fonte melhores que possam servir de base para a nossa premissa, porque não foi feita qualquer projeção robusta para o uso da terra no futuro nessa região. A taxa anual de desmatamento foi calculada com base nos dados de perda de florestas (Hansen et al. 2013) de todos os municípios incluídos na área de bacia hidrográfica estudada.

A TAXA DE DESMATAMENTO RESULTANTE FOI COMPUTADA PELA EQUAÇÃO 8:

Equação 8

$$def\% = \left(1 - \frac{\sum_{2015}^{2001} def}{veg\ 2000} \right)^{0,067} * 100$$

ONDE:

def% é a taxa histórica de desmatamento a ser usada nas projeções (% por ano);

def é desmatamento, com t0 = 2001, tf = 2015 (ha); e

veg 2000 é a cobertura de mata nativa em 2000 (ha).

O resultado é uma taxa de 0,2% por ano, o que significa um total de 1.901 ha em 30 anos.

Tabela C3 | Horizonte de tempo para análise da infraestrutura hídrica

VIDA ÚTIL DA INFRAESTRUTURA E DOS EQUIPAMENTOS	(ANOS)	AMORTIZAÇÃO (ANOS)	HORIZONTE USADO PARA AVALIAR O ROI (ANOS)
Barragens, tubulações, reservatórios	80–100	50–60	50
Estações de bombeamento e outras construções	40–60	30	20–40
Bombas e outros equipamentos	25–35	20–25	20–25
Tanques de tratamento de água e salas de máquinas	40–60	30	20–40
Tanques e reservatórios químicos	20–30	15	20–25

Fonte: U.S. EPA 2003; Sabesp 2014a.

Horizonte temporal

Projetos de infraestrutura natural como estratégia de substituição ou complementação de projetos de infraestrutura convencional devem considerar, para análise, um horizonte de tempo que seja relevante para os processos de tomada de decisões. Embora a infraestrutura verde possa gerar benefícios que perduram por várias décadas, a tomada de decisões de investimentos em infraestrutura hídrica pode ser mais limitada à vida útil da infraestrutura construída.

O termo “vida útil” da infraestrutura refere-se a quanto tempo uma infraestrutura pode funcionar bem, enquanto “horizonte de tempo” é a duração de um determinado projeto e pode ser usado para definir o horizonte de planejamento visando à tomada de decisões. A Tabela C3 apresenta os tempos de vida útil e horizontes de tempo recomendados para avaliar os principais componentes da infraestrutura hídrica.

Como a nossa análise considera um sistema hídrico com múltiplos componentes de infraestrutura, optamos por usar um número médio de 30 anos. A Sabesp também usa esse horizonte de tempo em sua própria análise (Sabesp 2011a).

Taxa de desconto

A taxa de desconto é a taxa de juros usada para determinar o valor presente dos fluxos de caixa futuros. Ela reflete o valor do dinheiro no tempo e o risco dos fluxos de caixa futuros (Assaf Neto 2010). Para o nosso cenário referencial (benchmark), usamos a taxa de desconto de 9% com base no custo médio ponderado do capital (WACC) da Sabesp, que é 9,11%, e que também é a taxa de desconto que a Sabesp aplicou aos seus próprios projetos (Sabesp 2011b). O WACC reflete os juros que a empresa deve por cada dólar financiado, e é também usado oficialmente pelo governo brasileiro para ajustar as tarifas de água (ANA 2010).

Os especialistas financeiros também recomendam o uso de uma faixa de taxas de desconto para aumentar a robustez da análise (Assaf Neto 2010). O Banco Interamericano de Desenvolvimento recomenda uma taxa de desconto de 12% para projetos públicos de infraestrutura hídrica na América Latina (Fontanele & Vasconcelos 2012). No Brasil, os especialistas financeiros recomendam que se leve em conta o risco-Brasil. A base de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), mostra que nos últimos 10 anos o risco-Brasil foi, em média, de $256 \pm 90,4$ pontos, correspondendo a $2,56\% \pm 0,904\%$ ao ano (IPEA 2017).

Tabela C4 | Taxas de desconto usadas nesta análise

CENÁRIO FINANCEIRO	TAXA DE DESCONTO APLICADA
Taxa Social	5% (mínimo exigido – RBa – DPb)
Normal	9% (mínimo exigido)
Pessimista	12% (mínimo exigido + RB + DP)

Nota: ^a RB, é o risco-Brasil médio diário entre 01 de janeiro de 2012 e 31 de dezembro de 2017; ^b DP, desvio padrão.

Fonte: Autores.

Em nossa análise de sensibilidade, variamos a taxa de desconto de 5 a 12%, levando em conta o risco adicional e seu desvio padrão, para representar cenários de maior e menor risco (ver Tabela C4 e Seção VI).

Modelagem de sedimentos

Esta seção explica como transformamos os resultados do modelo InVEST Sediment Retention em valores de sedimentos anuais evitados. Conforme descrito no Apêndice B, o modelo InVEST estima a capacidade de retenção de sedimentos de uma parcela de terras e pode estimar os sedimentos evitados no cenário referencial e no cenário do portfólio de investimentos. Usamos o modelo para estimar os valores de sedimentos no Ano 0 e no Ano 30 nas condições basais e com cada portfólio, a fim de estimar o valor total de sedimentos evitados. Reconhecendo que há uma defasagem de tempo entre a restauração e conservação da floresta e os efetivos benefícios da retenção de sedimentos, desenvolvemos um método para estimar os sedimentos anuais evitados com base no número de hectares de restauração e conservação e na estrutura arbórea.

Muitos estudos avaliaram as taxas relativas de erosão do solo comparando a floresta com outros tipos de cobertura da terra no bioma Mata Atlântica (Avanzi et al. 2013; Machado et al. 2003; Martins et al. 2010; Ribeiro et al. 2014). Todos esses estudos concluem que, na Mata Atlântica, a cobertura florestal proporciona melhor retenção de sedimentos do que as pastagens, e a mata nativa proporciona

melhor retenção de sedimentos do que as plantações de eucalipto, possivelmente porque a mata nativa tem maior variação no dossel e na estrutura radicular.

Os benefícios de retenção de sedimentos das florestas, especialmente matas nativas, no bioma Mata Atlântica são claros, mas não é tão claro quando esses benefícios se estabelecem. As partes interessadas locais destacam evidências isoladas de que os serviços de retenção de sedimentos se estabelecem rapidamente depois que a floresta é plantada. No entanto, não temos conhecimento de qualquer estudo que tenha estimado o fluxo de controle da erosão em uma floresta natural restaurada no bioma Mata Atlântica em um horizonte de tempo de 30 anos. O estudo mais aproximado teve como foco o plantio dessa espécie e mostrou que as plantações de eucalipto tiveram alta taxa de perda de solo nos primeiros 4 anos de crescimento e taxas substancialmente mais baixas 8 a 12 anos após o plantio (Martins et al. 2010). Em razão dessa escassez de dados, usamos a estrutura florestal como parâmetro representativo dos serviços de retenção de sedimentos, considerando que o nível dos serviços de controle da erosão em florestas restauradas tem correlação direta com a taxa de recuperação da floresta (Chazdon 2017). Os serviços de retenção de sedimentos correlacionam-se diretamente com as características da estrutura da floresta, como a área foliar do dossel, a profundidade da raiz da vegetação, a profundidade do solo e a profundidade da serapilheira. Características ecológicas, como a diversidade e a composição das espécies, também podem ter impacto na prestação desses serviços. Essas características estruturais e ecológicas são mediadoras dos fluxos hidrológicos em todo o planeta (Ellison et al. 2017).

Usamos a taxa média de recuperação de florestas em regiões neotropicais derivada de Poorter et al. (2016); esses autores quantificaram os estoques de biomassa acima do solo em florestas secundárias para estimar as taxas de recuperação em um estudo de 45 locais nos neotrópicos, que cobriu um território em que se inclui a área do nosso estudo. Alguns fatores que podem afetar significativamente essa taxa são o clima, os solos e a intensidade do manejo no local (Poorter et al. 2016). Consideramos que 10% dos serviços de controle

PARA ESTIMAR A QUANTIDADE ANUAL DE SEDIMENTOS EXPORTADOS, CONSTRUÍMOS UMA FUNÇÃO MATRICIAL CONFORME MOSTRA A EQUAÇÃO 9:

Equação 9

$$ec_{ano\ y} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,30} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{30,1} & \dots & a_{30,30} \end{bmatrix}_{30,30} * \begin{bmatrix} p_{1,1} \\ \dots \\ p_{30,1} \end{bmatrix}_{30,1} * ta * EC$$

ONDE:

ec_{ano y} é a contribuição da erosão devida à restauração no ano a (toneladas de sedimentos);

a_{ij} é a área restaurada no ano i (ha) com idade j;

p_{ij} é o percentual máximo de controle da erosão para uma floresta restaurada com idade j (%);

ta é a área total restaurada ao final de 10 anos (ha); e

EC é a contribuição média da erosão estimada pelo modelo InVest (toneladas/ha).

da erosão são prestados após um ano de restauração e 100% serão prestados até o 44º ano, quando a floresta restaurada tem estrutura semelhante à da floresta madura.

Como a restauração não se faz toda de uma vez, mas sim de acordo com um cronograma específico, o controle da erosão máximo anual total é função da área restaurada, da idade da restauração e do percentual máximo de controle da erosão.

A Figura C1 ilustra a tendência de controle da erosão em 30 anos, considerando-se um cronograma de implementação por etapas e dando tempo para que ocorra o crescimento da floresta.

Valoração de custos

Os custos dos investimentos são diferentes no caso de regeneração natural e restauração assistida. A regeneração natural implica apenas cercar a área e deixar que a natureza siga seu curso, enquanto a restauração assistida requer intervenções adicionais, como preparo do solo, plantio, fertilizantes e, às vezes, irrigação (conforme descrito na Tabela C5).

Custos de operação e manutenção

Os custos de operação e manutenção da restauração incluem despesas necessárias para manter as florestas saudáveis e evitar a mortalidade das árvores. Consideramos que os custos de O&M incidem nos três anos imediatamente seguintes à restauração, com base nas recomendações da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA 2014). Também consideramos que as cercas precisam ser reparadas a cada 14 anos após a sua instalação (portanto, duas vezes no horizonte de tempo de 30 anos deste estudo).

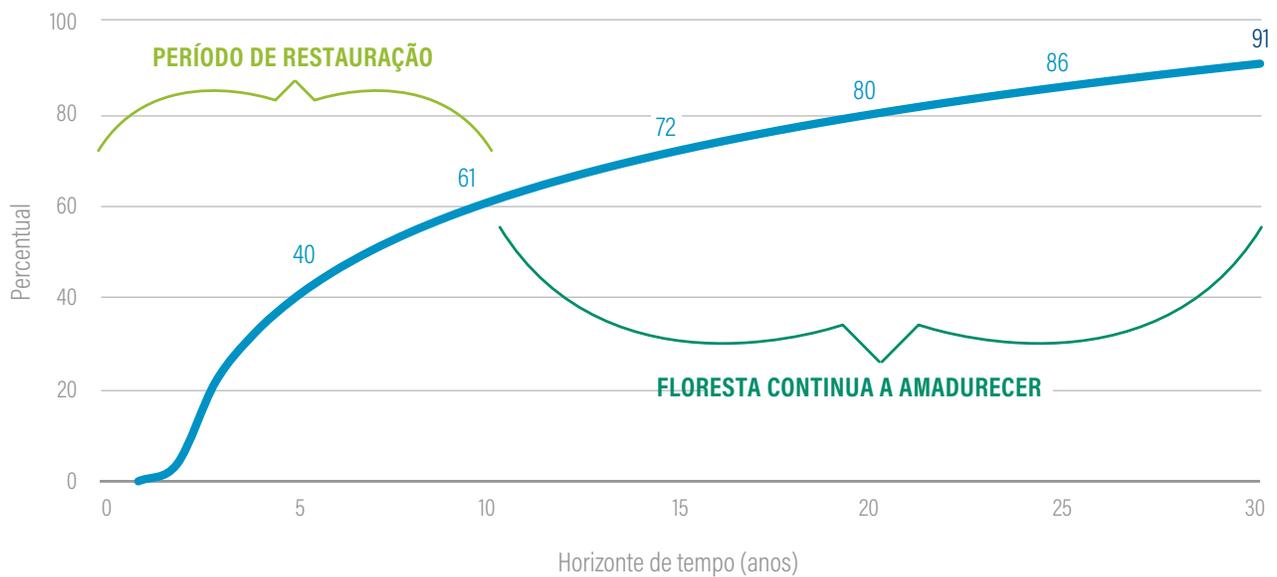
Custos de transação

Os custos de transação são despesas necessárias para negociar, redigir contratos e garantir o cumprimento de cada contrato (Assaf Neto 2010). Em programas de restauração, os custos de transação podem representar custos com mão de obra e custos para envolver parceiros, investidores e proprietários de terras. Embora os custos de transação sejam considerados cruciais para uma análise econômico-financeira, há pouco conhecimento sobre a magnitude dos custos de transação de projetos de restauração individuais. Mesmo em estudos de restauração em grande escala no Brasil, os custos de transação são destacados, mas seus valores são omitidos (Antoniazzi et al. 2016; Instituto Escolhas 2016; Benini & Adandodato 2017).

Kroeger et al. (2017) são exceção. Esses autores estimaram que, em 30 anos de um projeto de pagamento por serviços ecossistêmicos (PSE), os custos de transação podem ser cinco vezes maiores que os pagamentos feitos aos proprietários de terras. Contudo, nesse caso, eles consideram todo o delineamento e gestão do projeto, a análise biofísica e econômica, bem como um monitoramento hidrológico de alta qualidade; muitos desses custos poderiam ser cobertos com serviços que aproveitassem as capacidades relativas dos parceiros.

Neste contexto de estudo, a restauração da floresta no Sistema Cantareira pode aproveitar e alavancar os esforços de projetos em andamento, incluindo o Fundo de Água para São Paulo e o Programa Nascentes, que já cobriram alguns custos de transação associados à análise biofísica e econômica, delineamento do programa e gestão. Consideramos que os custos de transação são uma fração dos valores médios dos custos administrativos de PSE na região de São Paulo. A Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo estima em US\$500 por hectare os custos de transação dos programas

Figura C1 | Tendências de controle da erosão para o R4000 em 30 anos (% do total possível de controle da erosão)



Fonte: Autores.

de restauração (Carrascosa 2017). Adotamos essa estimativa e consideramos que cerca de 20% dos custos de restauração ocorreriam nos anos 1 a 4, correspondentes ao período de investimentos e manutenção.

Custos de oportunidade

Os custos de oportunidade da terra foram aplicados anualmente ao longo do horizonte de tempo de 30 anos. Os custos de oportunidade são o valor (benefício líquido) das outras opções de uso da terra impossibilitadas pelas intervenções de conservação. Como existem muitas possibilidades de uso da terra em qualquer terreno, o custo de oportunidade da terra é geralmente determinado pelo uso mais comum ou mais lucrativo e/ou pela categoria produtiva de uso da terra que teria ocorrido se não fosse a intervenção de conservação.

Consideramos que os custos de oportunidade não se aplicam a áreas protegidas de acordo com a legislação brasileira-mais especificamente, o Código Florestal brasileiro-já que, nessas áreas, não existe alternativa legal para o uso da terra. Essa premissa foi amplamente adotada no Brasil (Soares-Filho et al. 2014) para casos em que a restauração terá lugar em áreas de preservação permanente. De acordo com o Código Florestal (Lei 12.651/12), essas áreas precisam ser preservadas com vegetação natural ou obrigatoriamente restauradas, e não são permitidos usos alternativos. Embora o futuro do Código Florestal brasileiro não seja claro (Soares-Filho et al. 2014), consideramos que a lei estará em vigor e em pleno cumprimento no horizonte de tempo analisado.

Fora das zonas APP, consideramos o custo de oportunidade como sendo US\$171/ha, com base em entrevistas com as partes

interessadas. Esse valor se assemelha ao preço de arrendamento de pastagens indicado pelo escritório regional do Instituto de Economia Agrícola do Estado de São Paulo, segundo o qual os preços de arrendamento de pastagens variam de US\$93 a US\$243/ha/ano nas regiões de São Paulo, Campinas, Limeira, Bragança Paulista e Piracicaba (IEA 2017).

Valoração de benefícios

Embora a restauração possa gerar diversos benefícios, essa análise se concentra apenas nos custos evitados no controle de sedimentos incorridos pelos operadores de infraestrutura hídrica. Conforme descrito no relatório principal, avaliamos três custos de gestão de recursos hídricos: custos de tratamento de água, custos de dragagem de reservatórios e desgaste de equipamentos (depreciação de ativos).

O modelo InVEST Sediment Retention nos permitiu estimar a quantidade total anual de sedimentos que chega aos afluentes do sistema de reservatórios nas condições de referência e dos portfólios de investimentos. Com base na opinião de especialistas, consideramos que 87% de todos os sedimentos que chegam a cada reservatório permanecem no reservatório, enquanto 13% fluem para a estação de tratamento de água (Sousa Júnior 2011). No entanto, como o Sistema Cantareira engloba seis reservatórios, e a área de drenagem de cada um deles tem uma taxa de erosão diferente, estimamos que 97,21% de todos os sedimentos exportados para a bacia hidrográfica são retidos no sistema de reservatórios, e apenas 2,79% entram na estação de tratamento de água, considerando o cenário de referência citado por Sousa Júnior (2011).

Custos de dragagem evitados

Em razão das limitações de dados sobre a atual capacidade de armazenamento de água e os níveis de assoreamento dos seis reservatórios, além da falta de informações da Sabesp sobre o que desencadeia ações de controle de sedimentos, consideramos a dragagem como a ação preferida para controle de sedimentos em cada reservatório e que todo novo sedimento precisa ser dragado. Consideramos que a dragagem ocorrerá anualmente. Essa abordagem foi recomendada durante as entrevistas com as partes interessadas.

OS CUSTOS DE DRAGAGEM FORAM CALCULADOS PELA EQUAÇÃO 10:

Equação 10

$$D_i = C \cdot S_i \cdot d_i$$

ONDE:

D_i é o custo total de dragagem no ano i (em R\$);

C é o percentual do total de sedimentos que fica retido no reservatório (97,21%);

S_i é o total de sedimentos que chega ao sistema de águas (toneladas/ha/ano, estimado pelo modelo InVEST); e

d_i é o preço de dragagem de uma tonelada de lodo seco ou o equivalente em sedimentos no ano i. No caso de São Paulo, isso corresponde a 11,18 (US\$/tonelada), considerando que a densidade (peso específico) de sedimentos é de 1,9925 gramas por mililitro.

PARA ESTIMAR OS CUSTOS DE DRAGAGEM EVITADOS ENTRE O CENÁRIO DE REFERÊNCIA E O PORTFÓLIO DE INVESTIMENTOS, CALCULAMOS A VARIAÇÃO ANUAL DOS CUSTOS DE DRAGAGEM EVITADOS USANDO A SEGUINTE EQUAÇÃO:

Equação 11

$$\Delta D_i = D_i \cdot D'_i$$

ONDE:

ΔD_i é o custo total de dragagem evitado no ano i (US\$);

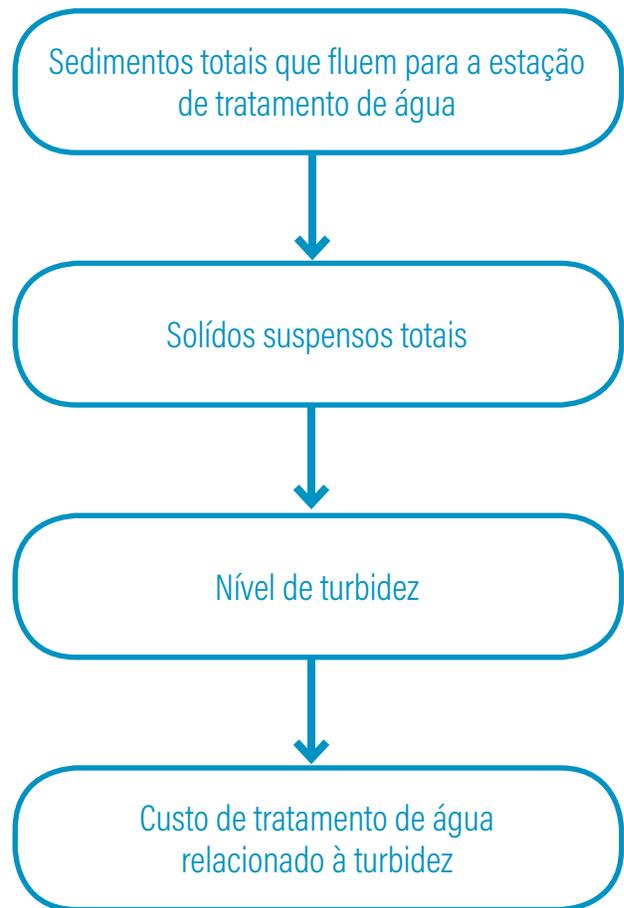
D_i é o custo total de dragagem no ano i no portfólio de referência (US\$); e

D'_i é o custo total de dragagem no ano i em um portfólio alternativo (US\$).

Custos de tratamento de água evitados

Os custos evitados de tratamento de água foram estimados por meio do desenvolvimento de curvas de custos como função dos níveis de turbidez. Foi usado um método de conversão de unidades, seguindo quatro etapas para levar em conta os custos evitados de tratamento de água devido à turbidez (Figura A4) (Tomazoni et al. 2005; Sousa Júnior 2011; Arroio Júnior 2013; Bezerra et al. 2015; Medeiros et al. 2015; Mello 2017).

Figura C2 | Quatro etapas para se levarem em conta os custos evitados de tratamento de água devido a turbidez



Fonte: Autores.

UTILIZANDO OS RESULTADOS DO MODELO INVEST E CONSIDERANDO QUE 2,79% DOS SEDIMENTOS SÃO EXPORTADOS PARA A ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA, APLICAMOS A EQUAÇÃO 12 PARA CONVERTER SEDIMENTOS DIÁRIOS EM SÓLIDOS SUSPENSOS, ADAPTADA DE CARVALHO (1994), COMO SEGUE:

Equação 12

$$SS = S_{ed}/19,11 * 0,0864$$

ONDE:

SS é a concentração de sólidos suspensos totais (miligramas por litro ou mg/l);

S_{ed} é o total de sedimentos exportados para o sistema, fornecido pelos modelos InVest (toneladas/dia);

19,11 é a constante do volume de afluente ao Sistema Cantareira, estimada pelo modelo InVest neste projeto (m³/s); e

0,0864 é o fator de conversão de sedimentos diários para sólidos suspensos.

PARA OBTER O NÍVEL DE TURBIDEZ DECORRENTE DOS SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS, USAMOS A EQUAÇÃO DE SAAD ET. AL (2018):

Equação 13

$$T = \left(\frac{SS}{1,114} \right) - 1,4731$$

ONDE:

T é o nível de turbidez (UNT); e

SS é a concentração de sólidos suspensos (mg/l).

Finalmente, estimamos os custos decorrentes do nível de turbidez usando dados coletados na estação de tratamento de água Guaraú do Sistema Cantareira (Saron & Silva 1997), com valores deflacionados para 2017 pelo IGP-DI (Índice Geral de Preços-Disponibilidade Interna). Consideramos que no cenário de referência o uso de produtos químicos para tratamento da turbidez atual, que varia de 3-10 NTU, segundo nossas entrevistas e consulta a especialistas, é de 13g sulfato de alumínio, 3g de cloreto férrico e 2g de cal por /m³ de água tratada.

USAMOS UMA EQUAÇÃO COM DADOS DE TURBIDEZ DE ATÉ 40 UNT:

Equação 14

$$C = 0,0035912161 * \ln(T) - 0,0004325082$$

ONDE:

C representa o custo dos insumos químicos para tratamento da turbidez (R\$/m³); e

T é o nível de turbidez (UNT).

Também foram levados em conta outros custos diretamente afetados pelo nível de turbidez, como despesas com energia e mão de obra para tratamento de água e manutenção de equipamentos, além de reposição de materiais, como areia e antracito, e materiais para limpeza dos equipamentos e remoção do lodo. Para esses custos, consideramos uma relação linear com a quantidade de sedimentos que chega à estação de tratamento de água. Esse procedimento de relação linear é, portanto, diferente da relação entre o nível de turbidez e os custos de insumos químicos. Essa premissa foi orientada por especialistas, incluindo um diretor financeiro da concessionária de águas, engenheiros ex-funcionários da concessionária, pesquisadores acadêmicos e pessoal da Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos.

OS CUSTOS FORAM ESTIMADOS PELA SEGUINTE EQUAÇÃO:

Equação 15

$$C'_{i,y} = C_i * \frac{T'_y}{T}$$

ONDE:

C'_{i,y} representa o custo da atividade i no ano a no portfólio mais ecológico (R\$/m³);

C_i representa o custo basal da atividade i no ano a no portfólio referencial (R\$/m³);

T'_y é a turbidez no ano a no portfólio de restauração mais ecológico (UNT); e

T é o sedimento total no momento basal.

Consideramos que o custo de dragagem é proporcional à quantidade anual de sedimentos.

Depreciação

Como já mencionamos, o controle da erosão pode ter impacto na depreciação dos bens de capital dos sistemas de infraestrutura hídrica. Com base nos relatórios financeiros da Sabesp, a taxa de depreciação normal é de 2,33% ao ano em média. Consideramos que a redução de sedimentos resulta em economias de custos equivalentes à depreciação evitada dos equipamentos na estação de tratamento de água.

CALCULAMOS ESSA ECONOMIA DE ACORDO COM OS SEDIMENTOS EVITADOS (HESPANHOL 2017):

Equação 16

$$AD_{ano\ y} = D_{ano\ y} * \begin{bmatrix} a_{1,1} & \dots & a_{1,30} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{30,1} & \dots & a_{30,30} \end{bmatrix}_{30,30} * \begin{bmatrix} p_{1,1} \\ \dots \\ p_{30,1} \end{bmatrix}_{30,1} * S^{-1}$$

ONDE:

AD é a depreciação decorrente da restauração já implantada no ano a (R\$);

D_{ano y} é a depreciação normal (portfólio referência) no ano a (R\$);

a_{i,j} é a área restaurada no ano i com idade j (ha);

p_{i,j} é o percentual máximo de controle da erosão para uma floresta restaurada com idade j (%); e

S é a quantidade total de sedimentos evitados em 100% de restauração estimado pelo modelo InVEST (toneladas).

A Tabela C5 apresenta os custos unitários estimados para o tratamento de água, dragagem e depreciação incorridos pelos operadores de infraestrutura hídrica no Sistema Cantareira.

Modelo financeiro e análise de custo-benefício

Nossa análise financeira segue métodos que fornecem resultados em quatro indicadores de desempenho financeiro, que são a taxa interna de retorno, o retorno sobre o investimento, o valor presente líquido e o período de payback (Ittelson 2009; World Bank 2009; Assaf Neto 2010). Definições, fórmulas e informações completas sobre esses indicadores de desempenho financeiro encontram-se em Gray et al. (no prelo).

Tabela C5 | Custos unitários estimados para tratamento de água, dragagem de reservatórios e depreciação relacionados à turbidez e ao assoreamento (cenário de referência)

CUSTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO PARA TRATAMENTO DA TURBIDEZ (US\$ CENTAVOS/M ³ DE ÁGUA TRATADA)	
Mão de obra	0,93
Produtos químicos	0,22
Reposição de areia (10%/ano)	0,001
Reposição de antracito (10%/ano)	0,02
Remoção do lodo	0,10
Energia	0,46
TOTAL	1,73
DRAGAGEM (CUSTOS TOTAIS, US\$/M ³)	
Mão de obra	0,12
Maquinário	9,13
Descarte	0,87
TOTAL	10,13
DEPRECIÇÃO (US\$ cents/m³)	0,12

Notas: Os custos de operação e manutenção relacionam-se exclusivamente ao tratamento da turbidez. O custo de mão de obra inclui salários, encargos e outros benefícios e direitos financeiros e monetários. A reposição de areia e antracito refere-se a filtros e equipamentos, enquanto a remoção de lodo refere-se à limpeza dos equipamentos.
Fonte: Autores.

Análise de sensibilidade

Para tratar do risco e da incerteza, conduzimos uma análise de sensibilidade que consistiu em alterar as variáveis relevantes do modelo financeiro para medir o impacto de cada variável no desempenho financeiro geral. Os resultados são apresentados na Tabela ES 2 (página 6), na Figura ES-2 (página 7) e na Tabela 5 (página 30). Outros detalhes sobre o método da análise de sensibilidade são apresentados a seguir. As variáveis foram selecionadas com base nos critérios enumerados por Gray et al. (no prelo). Para compreender se e como o delineamento do projeto de infraestrutura natural poderia influenciar o risco de mau desempenho financeiro, variamos também outros fatores, como cronogramas de implementação, proporção informada da participação do governo nos custos e custos de transação. Variamos a taxa de desconto de 9% para 5% e 12%.

Na análise de sensibilidade, usamos as seguintes premissas e faixas de variação alternativas:

Quantidade de sedimentos (toneladas/ano): Conduzimos uma simulação de Monte Carlo (com 1.000 rodadas) pressupondo uma distribuição normal dos resultados do modelo InVEST. Em cada rodada, tomamos aleatoriamente um valor de sedimentos. Consideramos que os sedimentos (toneladas de sedimentos por metro cúbico) seguem uma distribuição normal, com média de 226.585 (resultado do modelo InVEST) e variância de 714.179.225. Para o R4000, consideramos uma distribuição normal, com média de 58.019 e variância de 50.541.237.

Custos de oportunidade (US\$/ha/ano): Teoricamente, APPs não têm custos de oportunidade porque não existe alternativa legal de uso da terra, segundo o Código Florestal. No entanto, cerca de 8,1 milhões de ha de APPs estão hoje em uso no Brasil, para outros fins que não a conservação das florestas. A maior parte é composta por pastagens degradadas, mas que, apesar disso, geram alguma renda para os produtores rurais (Guidotti et al. 2017). No Cantareira, 76% das APPs-aproximadamente 58.000 hectares-são ocupados, atualmente, por usos não florestais da terra.

O fato de que os proprietários de terras costumam descumprir as exigências de APPs implica que exista um custo de oportunidade de todas as terras, independentemente de seu status de APP. Consequentemente, introduzimos algum pagamento por serviços ecossistêmicos como compensação para cobrir os custos de oportunidade até mesmo para as APPs (Young & Bakker 2014). Se considerarmos que os produtores rurais precisarão ser compensados pela perda de renda das APPs, os custos do projeto aumentam de modo que ele deixa de ser lucrativo.

Custos da restauração (US\$/ha): Utilizamos premissas alternativas dos custos de restauração na região, com base em estimativas feitas por Antoniazzi et al. (2016), Benini & Adandodato (2017), e Instituto Escolhas (2016). Nessas fontes, os investimentos e custos de O&M da restauração assistida variaram de US\$2.019/ha para US\$5.038/ha com média de US\$4.179/ha, semelhante à nossa premissa de US\$4.449 (com base em entrevistas locais). Os custos totais da restauração (incluindo investimentos, O&M, custos de transação e custos de oportunidade) variaram de US\$4.931 a US\$13.057, respectivamente.

Mudanças climáticas: Estudos relevantes baseados em dados seriados sobre o clima revelaram que, na região sudeste do Brasil, as temperaturas esperadas poderão se elevar em 0,5 a 1,5°C nas próximas três décadas. No mesmo período, espera-se um aumento das chuvas de 10 para 30%, embora o número de dias de chuva por ano provavelmente permaneça inalterado (PBMC 2013; Marengo et al. 2013; INPE 2017). Adotamos um cenário teórico simples sobre mudanças climáticas, baseado em Feltran-Barbieri (2018) e constatamos que um aumento de 10% nas chuvas torrenciais poderia implicar um aumento de 6,4% no nível médio anual de turbidez. As mudanças climáticas poderiam influenciar também o desempenho da restauração, levando a mortalidade das árvores, mas, ainda assim, o projeto de restauração seria lucrativo. A TIR poderia ser 0,9% menor, por ano, do que o benchmark, e o VPL, 38% menor.

REFERÊNCIAS

- ANA (Agência Nacional de Águas). 2010. *Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água. Resultados por estado*, vol. 2. Brasília, Brazil: ANA.
- Antoniazzi, L., P. Sartorelli, K. Costa, e I. Basso. 2016. *Restauração florestal em cadeias agropecuárias para adequação ao Código Florestal*. São Paulo: Input, e Agroicone.
- Arroio Júnior, P. 2013. *Avaliação da produção e transporte de sedimentos na bacia hidrográfica do Rio Itaqueri, municípios de Itirapina e Brotas-SP*. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. Dissertação.
- Assaf Neto, A. 2010. *Finanças Corporativas e valor*. São Paulo: Atlas.
- Avanzi, J.C., M.L.N. Silva, N. Curi, L.D. Norton, S. Beskow, e S.G. Martins. 2013. "Spatial Distribution of Water Erosion Risk in a Watershed with Eucalyptus and Atlantic Forest." *Ciência e Agrotecnologia* 37 (5): 427–34.
- Benini, R., e S. Adandodato. 2017. *Economia da Restauração Florestal*. São Paulo: The Nature Conservancy.
- Bezerra, R., B. da Silva Marques, F. de Almeida, W. Sampaio, e A. da Silva. 2015. "Estudo da variação de turbidez (N.T.U.) do Rio Santa Maria da Vitória, entre os municípios de Santa Maria do Jetibá e Santa Leopoldina, estado do Espírito Santo." *Revista Simpac* 7 (1): 565–73.
- Chazdon, R. 2017. Comunicação pessoal entre Rafael Feltran-Barbieri e Robin Chazdon, WRI Research Fellow. Washington, DC.
- Chazdon, R., e M. Uriarte. 2016. "Natural Regeneration in the Context of Large-Scale Forest and Landscape Restoration in the Tropics." *Biotropica* 48 (6): 709–15.
- DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). 2013. *Plano diretor de aproveitamento de recursos hídricos para a macrometrópole Paulista, no estado de São Paulo*. Relatório final Volume 1. São Paulo: DAEE. http://www.daee.sp.gov.br/index.php?option=com_content&view=article&id=1112:plano-diretor-de-aproveitamento-dos-recursos-hidricos-para-a-macrometropole-paulista&catid=42:combate-a-enchentes.
- Ellison, D., C. Morris, B. Locatelli, D. Sheil, J. Cohen, D. Murdiyarsoi, V. Gutierrez et al. 2017. "Trees, Forests and Water: Cool Insights for a Hot World." *Global Environmental Change* 43 (Supplement C): 51–61.
- Feltran-Barbieri, R. 2018. "Climate Change Scenarios for Green-Gray Assessment." São Paulo: World Resources Institute. Contato: Dr. Rafael Feltran-Barbieri, Rafael.Barbieri@wri.org.
- Fontanele, R., e O. Vasconcelos. 2012. "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. <http://www.sober.org.br/palestra/12/060320.pdf>.
- Gray, E., S. Ozment, J.C. Altamirano, R. Feltran-Barbieri, e G. Morales. No prelo. "Green-Gray Assessment." Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute.
- Guidotti, V., F.M. Freitas, G. Sparovek, L. Pinto, C. Hamamura, F. Cerignoni, e T. Carvalho. 2017. "Números detalhados do novo Código Florestal e suas implicações para os PRAs." *Sustentabilidade em debate*, Número 5. Piracicaba, SP: Imaflora.
- Hansen, M., P. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau et al. 2013. "High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change." *Science* 342: 850–853. (Dados atualizados 2000-20015 do original de Hansen et al., 2013, disponível em Global Forest Watch: www.globalforestwatch.org.)
- Hossain, F., J. Arnold, E. Beighley, C. Brown, S. Burian, J. Chen, A. Mitra et al. 2015. "What Do Experienced Water Managers Think of Water Resources of Our Nation and Its Management Infrastructure?" *Plos One* 10 (11): e0142073.
- IEA (Instituto de Economia Agrícola). 2017. Banco de Dados: Valor da Terra Nua. São Paulo.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Sem data. BDMEP Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Brasília: INMET/MAPA.
- INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2017. "Projeções climáticas regionalizadas pelo Modelo Eta área de abrangência—América do Sul."
- Instituto Escolhas. 2016. *Quanto o Brasil precisa investir para recuperar os 12 milhões de hectares de floresta?* São Paulo: Instituto Escolhas.
- IPEA (Instituto de Pesquisa em Economia Aplicada). 2017. Base de dados sobre Risco Brasil. Rio de Janeiro: IPEA. <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>.
- Ittelson, T. 2009. *Financial Statements: A Step-by-step Guide to Understanding and Creating Financial Reports*. 2nd Ed. New Jersey: The Career Press.
- Machado, R., C. Vettorazzi, e A. Xavier. "Simulação de cenários alternativos de uso da terra em uma microbacia utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento." *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27 (2003): 727–33.

- Martins, S.G., M.L.N. Silva, J.C. Avanzi, N. Curi, e S. Fonseca. 2010. "Fator Cobertura e Manejo Do Solo e Perdas de Solo e Água Em Cultivo de Eucalipto e Em Mata Atlântica Nos Tabuleiros Costeiros Do Estado Do Espírito Santo." *Scientia Forestalis* 38 (87): 517–26.
- Medeiros, P., G. Cavalcante Segundo, e E. Magalhães. 2015. "Comportamento da turbidez e material em suspensão, em um rio com vazão regularizada por sistema de barragens em cascata: Rio São Francisco (NE, Brasil)." *Geochimica Brasiliensis* 29 (1): 35–44.
- Mello, K. 2017. "Forest Cover and Water Quality in Tropical Agriculture Watershed." Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Doctoral Dissertation. Universidade de São Paulo.
- PBMC (Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas). 2013. "Executive Summary: Scientific Basis of Climate Change." Contribution to the *Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas*. http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/relatorios-pbmc/GT1_sumario_ingles.pdf.
- Poorter, L., F. Bongers, T.M. Aide, A.M. Almeyda Zambrano, P. Balvanera, J.M. Becknell, V. Boukili et al. 2016. "Biomass Resilience of Neotropical Secondary Forests." *Nature* 530: 211–14.
- Rezende, C., A. Uezu, F. Scarano, e D. Araujo. 2015. "Atlantic Forest Spontaneous Regeneration at Landscape Scale." *Biodiversity & Conservation* 24 (9): 2255–72.
- Ribeiro, K.H., N. Favaretto, J. Dieckow, L.C. de P. Souza, J.P.G. Minella, L. de Almeida, e M.R. Ramos. 2014. "Quality of Surface Water Related to Land Use: A Case Study in a Catchment with Small Farms and Intensive Vegetation Crop Production in Southern Brazil." *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38 (2): 656–68.
- Saad, S.I., J. Silva, M. Silva, J. Guimarães, W.C. Sousa Júnior, R. de Oliveira Figueiredo, and H. Ribeiro da Rocha. 2018. "Analyzing Ecological Restoration Strategies for Water and Soil Conservation." *Plos One* 13 (2): e0192325.
- Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo). 2011a. *Elaboração de projetos: Considerações gerais*. São Paulo: Sabesp.
- Sabesp. 2011b. *Weighted Average Cost of Capital: Sabesp's Contribution to the Basic Sanitation Public Consultation 01/11*. [http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/C96F08ACA72B899C8325787700559FE5/\\$File/WACC_sabesp_contribution.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/C96F08ACA72B899C8325787700559FE5/$File/WACC_sabesp_contribution.pdf).
- Sabesp. 2014a. *Relatório circunstanciado da consulta pública referente à nota técnica Arsesp N° RTS/001/2014—revisão tarifária da Sabesp*. São Paulo: Sabesp. [http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/81A42CDF8A0CBF9383257CC2006A6D32/\\$File/Relatorio_Circunstanciado_percent20RTS-004-2014.pdf](http://www.sabesp.com.br/sabesp/filesmng.nsf/81A42CDF8A0CBF9383257CC2006A6D32/$File/Relatorio_Circunstanciado_percent20RTS-004-2014.pdf).
- Saron, A., e E. Silva. 1997. "Redução na dosagem de sulfato de alumínio na ETA Guaraú com a utilização do sistema de recuperação de água de lavagem dos filtros." *Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental* II-011: 1088–97.
- SMA (Secretaria de Estado de Meio Ambiente de São Paulo). Resolução SMA N° 32 DE 03/04/2014. <http://www.iniciativaverde.org.br/upfiles/arquivos/resolucao/Resolucao-SMA-32-2014-Restauracao-Ecologica.pdf>.
- Soares-Filho, B., R. Rajão, M. Macedo, A. Carneiro, W. Costa, M. Coe, H. Rodrigues et al. 2014. "Cracking Brazil's Forest Code." *Science* 344: 363–64.
- Sousa Júnior, W.C. 2011. *Análise econômica da relação entre o uso do solo e custos de tratamento de água no estado de São Paulo*. São Paulo: SMA/GEF/WB. Projeto de Recuperação de Matas Ciliares. Produtos Técnicos 1.
- Stephens, S., J. Agee, P. Fulé, M. North, W. Romme, T.W. Swetnam, e M.G. Turner. 2013. "Managing Forests and Fire in Changing Climates." *Science* 342: 41–2.
- Strassburg, B., F. Barros, R. Crouzeilles, A. Iribarrem, J. Silveira dos Santos, D. Silva, J.B.B. Sansevero et al. 2016. "The Role of Natural Regeneration in Ecosystem Services Provision and Habitat Availability: A Case Study in the Brazilian Atlantic Forest." *Biotropica* 48 (6): 890–99.
- Tomazoni, J., L. Mantovani, A. Bittencourt, e E. Rosa Filho. 2005. "Utilização de medidas de turbidez na quantificação da movimentação de sólidos por veiculação hídrica nas bacias dos Rios Anta Gorda, Brinco, Coxilha Rica e Jirau—Sudoeste do Estado do Paraná." *Boletim Paranense de Geociências* 57: 49–56.
- U.S. EPA (United States Environmental Protection Agency). 2003. *Asset Management: A Handbook for Small Water Systems*. Washington, DC: EPA.
- World Bank. 2009. *International Financial Reporting Standards: A Practical Guide*. 5th ed. Washington, DC: World Bank.
- Young, C., e L. Barcellos de Bakker. 2014. "Payments for Ecosystem Services from Watershed Protection: A Methodological Assessment of the Oasis Project in Brazil." *Natureza & Conservação* 12: 71–78.

AGRADECIMENTOS

Queremos expressar nosso reconhecimento aos nossos parceiros estratégicos institucionais, que são os principais financiadores do WRI: Ministério de Assuntos Estrangeiros da Holanda, Ministério de Assuntos Estrangeiros da Dinamarca e Agência Internacional Sueca de Cooperação para o Desenvolvimento.

Este relatório é fruto de uma parceria entre o World Resources Institute (WRI), a Fundação FEMSA, a organização The Nature Conservancy, a União Internacional para Conservação da Natureza, o Instituto BioAtlântica, a Fundação O Boticário para Proteção da Natureza e o Projeto Capital Natural (que pôde participar por meio do projeto ClimateWise, subsídio NSF#1624329). Este relatório só foi possível graças ao generoso apoio financeiro e de trabalho dos parceiros do projeto. A participação dos parceiros do projeto também teve o apoio da Aliança Latino-Americana de Fundos de Água e do programa KNOWFOR financiado com recursos do governo do Reino Unido.

Os revisores contribuíram com um inestimável feedback e orientação para tornar o relatório substancialmente mais robusto. Queremos expressar nossa sincera gratidão às seguintes pessoas, que dedicaram tempo e esforço à revisão e à garantia de qualidade: Juan Carlos Altamirano (WRI), Silvia Benitez (TNC), Rachel Biderman (WRI), Marília Borgo (TNC), Miguel Calmon (WRI), Helena de Queiroz Carrascosa Von Glehn (Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo), Solange Filoso (University of Maryle), Todd Gartner (WRI), Timm Kroeger (TNC), Jorge Leon (TNC), Juan Lozano (TNC), Laura Malaguzzi Valeri (WRI), Michelle Manion (WRI), Marcelo Matsumotto (WRI), Helen Mountford (WRI), James Mulligan (WRI), Paulo Petry (TNC), Leah Schleifer (WRI), e Rene Zamora (WRI).

Muitos especialistas e técnicos de São Paulo nos deram orientação e contribuíram para o conteúdo das versões iniciais deste relatório (veja a lista de colaboradores no Apêndice A ao relatório). Expressamos nosso grande apreço por sua disposição de compartilhar conosco seus conhecimentos e experiência. O trabalho inicial nessa pesquisa foi realizado com a ajuda dos estagiários do WRI Melissa Castera, Brianna Mole e Mariana Vedoveto. Os primeiros revisores e colaboradores foram Eileen Acosta, Kate Brauman, Leah Bremer, Silvio Ferraz, Solange Filoso, Carlos Hurtado, David Moreno, Sandra Saad, Ferneio Veiga e Adrian Vogl. Agradecemos também a Patrícia Vieira Pompeu por ter contribuído com os dados usados no Capítulo 3 deste relatório.

O design gráfico, edição e layout deste relatório foram executados por Sara DeLucia, Billie Kanfer, Russell King, Carni Klirs, Yiyuan Jasmine Qin, Romain Warnault e Lauri Scherer.

SOBRE OS AUTORES

Suzanne Ozment é especialista do WRI baseada em Washintgon, DC.
Contato: sozment@wri.org

Rafael Feltran-Barbieri é especialista em infraestrutura natural e uso do solo no WRI-Brasil.
Contato: rafael.barbieri@wri.org

Perrine Hamel é cientista sênior do Natural Capital Project.

Erin Gray é economista do WRI.
Contato: egray@wri.org

Juliana Baladelli Ribeiro é analista de projetos ambientais da Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza.
Contato: ribeiroj@fundacaogrupoboticario.org.br

Samuel Roiphe Barrêto é gerente de conservação do Brasil da TNC.
Contato: sbarreto@tnc.org

Aurélio Padovezi é gerente de projetos de restauração do WRI-Brasil.
Contato: aurelio.padovezi@wri.org

Thiago Piazzetta Valente é analista de projetos ambientais da Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza.
Contato: thiagop@fundacaogrupoboticario.org.br

SOBRE O WRI

O World Resources Institute é uma organização global de pesquisas que coloca em prática grandes ideias em prol do meio ambiente, da oportunidade econômica e do bem-estar humano.

Nosso desafio

Os recursos naturais são a base da oportunidade econômica e do bem-estar humano. Mas hoje, estamos esgotando os recursos da Terra em taxas que não são sustentáveis, colocando em perigo as economias e vidas das pessoas. As pessoas dependem de água limpa, terra fértil, florestas saudáveis e clima estável. Cidades habitáveis e energia limpa são fundamentais para um planeta sustentável. Nesta década, precisamos abordar esses urgentes desafios globais.

Nossa visão

Temos como visão um planeta com igualdade e prosperidade, movido pela sábia gestão dos recursos naturais. Temos a ambição de criar um mundo no qual as ações dos governos, empresas e comunidades se juntem para eliminar a pobreza e manter o meio ambiente natural para todas as populações.

Nossa abordagem

CONSIDERAR

Começamos pelos dados. Conduzimos pesquisa independente e recorremos à tecnologia mais recente para desenvolver novas percepções e recomendações. Nossa análise rigorosa identifica riscos, revela oportunidades e informa estratégias inteligentes. Concentramos nossos esforços em economias influentes e emergentes nas quais o futuro da sustentabilidade será determinado.

MUDAR

Usamos nossas pesquisas para influenciar políticas governamentais, estratégias de negócios e ações da sociedade civil. Testamos projetos com comunidades, empresas e agências governamentais para desenvolver uma base sólida de evidências. Então, trabalhamos com parceiros para proporcionar uma mudança na vida das pessoas para aliviar a pobreza e fortalecer a sociedade. Cobramos responsabilidade de nós mesmos para garantir que os resultados sejam audaciosos e duradouros.

AMPLIAR

Não pensamos pequeno. Uma vez testados, trabalhamos com parceiros para adotar e ampliar nossos esforços regional e globalmente. Envolvermos-nos com tomadores de decisões para realizar nossas ideias e elevar nosso impacto. Medimos o sucesso através de ações governamentais e comerciais que melhoram as vidas das pessoas e mantêm um meio ambiente seguro.

CRÉDITOS DAS FOTOGRAFIAS

Folha de rosto David Riaño Cortés; índice Chensiyuan; pg. iv Dhemerson Conciani; p. 2, 12 (esquerda), 19, 20 James Eerson/WRI; p. 7, 12 (direita), 23, 36 Erik Lopes@/The Nature Conservancy; p. 10 Neil Palmer/CIAT; p. 13 Clairex/Flickr; p. 15 (esquerda), 32 Ere Guerra@/The Nature Conservancy; p. 15 (direita), 25, 50 Zig Koch@; p. 29 Fabricio Macedo; p. 34 Edson Lopes; p. 39, 53 Haroldo Palo Jr; p. 46 Oton Barros; p. 54 Augusto Gomes; p. 58 VOA News/Reuters.

Cada relatório do World Resources Institute representa um tratamento oportuno e acadêmico de um assunto de preocupação pública. O WRI assume a responsabilidade de escolher os assuntos de estudo e garantir aos seus autores e pesquisadores liberdade de pesquisa. Também solicita e responde à orientação de grupos consultivos e revisores especialistas. Entretanto, a menos que seja indicado em contrário, todas interpretações e descobertas estabelecidas nas publicações do WRI são aquelas dos autores.



Copyright 2018 World Resources Institute. Este trabalho está licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.
Para visualizar uma cópia da licença, acesse <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



WORLD
RESOURCES
INSTITUTE

10 G STREET NE
SUITE 800
WASHINGTON, DC 20002, USA
+1 (202) 729-7600
WWW.WRI.ORG

ISBN 1-56973-943-9