

# SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA AUMENTO DA RESILIÊNCIA HÍDRICA

Quantificação e valoração dos benefícios  
da infraestrutura natural no município  
de São Bento do Sul (SC)



# SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA AUMENTO DA RESILIÊNCIA HÍDRICA

Quantificação e valoração dos benefícios  
da infraestrutura natural no município  
de São Bento do Sul (SC)

Fundação  
GrupoBoticário 

# RESUMO EXECUTIVO

## Créditos institucionais

### Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza

ANDRÉ ROCHA FERRETTI  
CARLOS AUGUSTO WROBLEWSKI  
GUILHERME ZANIOLO KARAM  
JULIANA BALADELLI RIBEIRO  
JULIANE CRUZ DE FREITAS  
RENATO ATANAZIO  
THIAGO PIAZZETTA VALENTE

### Prefeitura Municipal de São Bento do Sul

MAGNO BOLLMANN (Prefeito de São Bento do Sul)  
MÁRCIO DREVECK (Secretário de Agricultura e Meio Ambiente)  
MARCELO HUBEL (Diretor de Meio Ambiente)  
RICARDO GONZALES FONTANA (Chefe de Divisão de Meio Ambiente)

### Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de São Bento do Sul

FRIDOLINO VAN DEN BOOM (Diretor Presidente)  
PAULO SCHWIRKOWSKI  
ZAIRA ZIPPERER SCHROEDER  
PEDRO FÜRST

### Equipe Aquaflora

#### Coordenação

JOÃO LUIS BITTENCOURT GUIMARÃES  
Engenheiro Florestal, MSc.

#### Equipe Técnica

JOÃO LUIS BITTENCOURT GUIMARÃES  
Engenheiro Florestal, MSc. | Especialista em Modelagem de Serviços Ecosistêmicos

DANIEL THÁ  
Economista Ambiental, MSc. | Especialista em Valoração Ambiental

SANDRA ISAY SAAD  
Meteorologista, DSc. | Especialista em Modelagem Climática

Foto da capa: Marcelo Metzger

GUIMARÃES, JOÃO LUIS BITTENCOURT ET AL - SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA AUMENTO DA RESILIÊNCIA HÍDRICA: QUANTIFICAÇÃO E VALORAÇÃO DOS BENEFÍCIOS DA INFRAESTRUTURA NATURAL NO MUNICÍPIO DE SÃO BENTO DO SUL (SC) 1 ED. – CURITIBA: FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO DE PROTEÇÃO À NATUREZA, 2018

Resumo executivo, 63p.

ISBN - 978-85-88912-28-1

Realização:

Fundação  
GrupoBoticário 

Execução:

AQUAFLORA

Apoio:



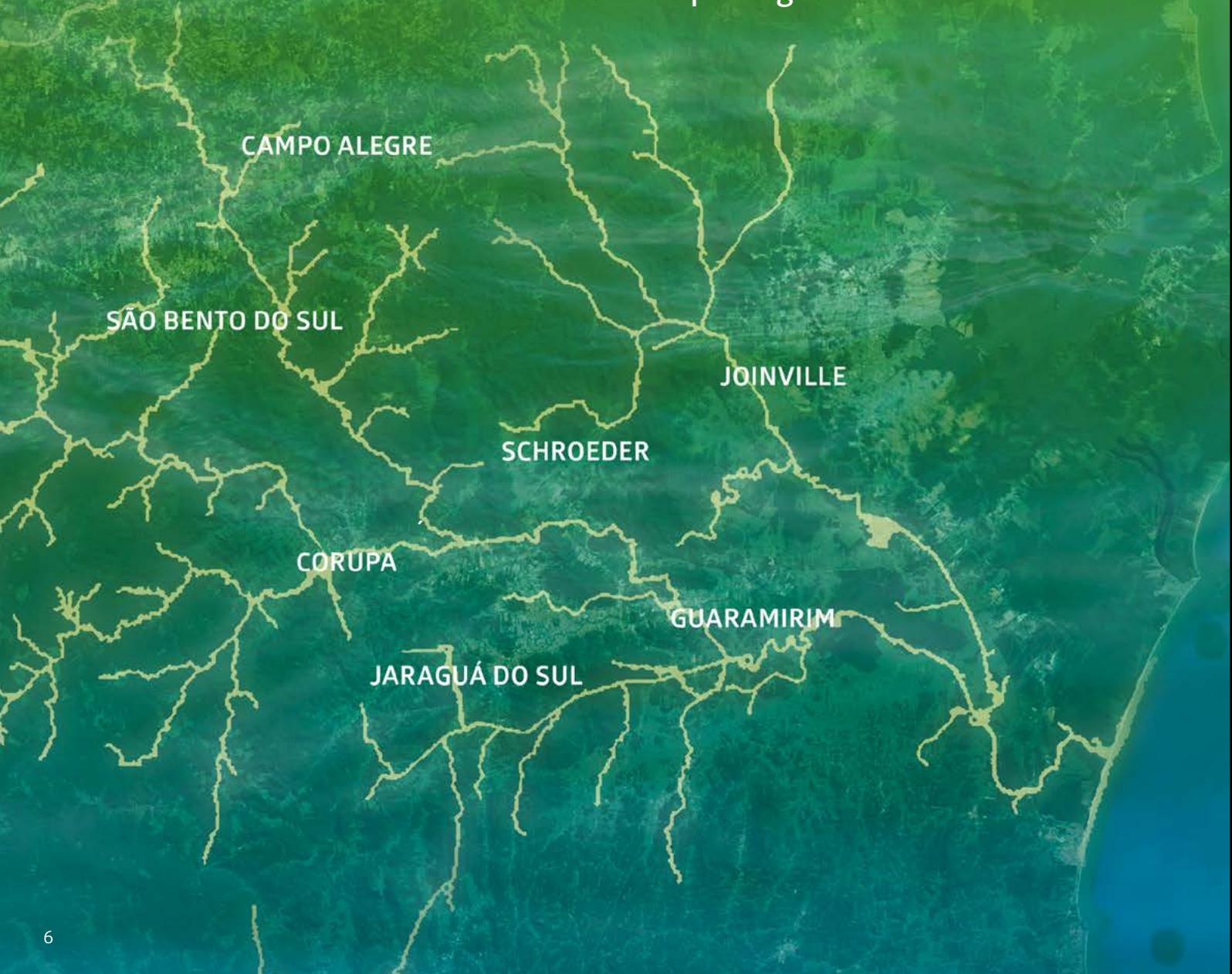
# ÍNDICE

INTRODUÇÃO	12
SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E INFRAESTRUTURA NATURAL	16
QUANTIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS MEDIANTE ALTERAÇÕES NA INFRAESTRUTURA NATURAL	21
VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE SÃO BENTO DO SUL	27
BENEFÍCIOS DA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE INFRAESTRUTURA NATURAL	33
CUSTOS DA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE INFRAESTRUTURA NATURAL	37
ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO (ACB) DA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE INFRAESTRUTURA NATURAL	40
CONTRIBUIÇÕES AO PROJETO “PRODUTOR DE ÁGUA DO RIO VERMELHO”	49
CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	54
NOTAS DE RODAPÉ E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

# SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA PARA AUMENTO DA RESILIÊNCIA HÍDRICA

**Soluções baseadas na Natureza (SBN)** são ações inspiradas e apoiadas pela natureza, que proporcionam benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a construir a resiliência. Podem ser ações de gestão sustentável, proteção e restauração de ecossistemas naturais ou modificados, que contribuem para a solução de desafios enfrentados pela sociedade, como, por exemplo, água, mudanças climáticas, segurança alimentar ou desastres naturais (European Commission, 2015). O objetivo da Fundação Grupo Boticário ao realizar este estudo foi identificar os benefícios da conservação e recuperação das áreas naturais nas bacias hidrográficas do município de São Bento do Sul, aplicando-se a abordagem de “Soluções Baseadas na Natureza” para aumento da segurança hídrica, considerando também os impactos da mudança do clima. Com base nestes resultados, poderemos contribuir com os processos de tomada de decisão, direcionando os investimentos para as regiões com maior retorno, bem como subsidiar tecnicamente uma possível ampliação da área de implantação do Projeto de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) “Produtor de Água do Rio Vermelho”, instituído pela Prefeitura Municipal de São Bento do Sul (SC) na bacia do Rio Vermelho em 2011, que contou desde o início com a parceria da Fundação Grupo Boticário e do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE).

## Caminho das Águas no Planalto Norte Catarinense: cidades conectadas pela água



## Como principais resultados do estudo, constatou-se que as Soluções Baseadas na Natureza:

- Podem contribuir para o serviço ecossistêmico de retenção de sedimentos em até 54%, reduzindo a turbidez em até 69% em uma das bacias estudadas.

- Ajudam a reduzir o fluxo superficial que provoca enxurradas<sup>1</sup> em até 20%, fluxo este que chega a aumentar 76% com desmatamento e mudança do clima associados.

- Podem aumentar a produção de água em até 2,8% (o que equivaleria ao consumo de 29 mil pessoas em um ano).

- Em São Bento do Sul têm o potencial de reduzir os custos associados ao abastecimento de água do SAMAE São Bento do Sul em R\$ 106 mil por ano (13% do custo total com produtos químicos para controle de turbidez) e do SAMAE Rio Negrinho em R\$ 205 mil por ano (26% do custo total com produtos químicos).

## Além disso, com base nos resultados é possível afirmar que:

- Os benefícios da conservação e recuperação de infraestrutura natural para São Bento do Sul associados aos impactos da mudança do clima, tal como enxurradas e deslizamentos, chegam a R\$ 406 mil por ano. Para outros municípios a jusante (Rio Negrinho, Corupá e Jaraguá do Sul), estes valores podem chegar a R\$ 2,65 milhões por ano.

- A conservação da infraestrutura natural evita prejuízos 6x maiores do que os custos associados, comprovando que conservar é um bom negócio.

- Caso haja **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL** em São Bento do Sul, por meio de desmatamento das áreas mais propensas a tal, os prejuízos econômicos poderiam chegar a quase um milhão por ano para o próprio município, além de gerar R\$ 32 milhões por ano em prejuízos para os municípios vizinhos

- A recuperação de áreas degradadas se configura como ação necessária para garantir a resiliência contra as mudanças climáticas, mais do que compensando os prejuízos esperados. Não obstante, é notadamente mais caro recuperar do que conservar remanescentes que já prestam serviços ecossistêmicos.

- Ações de restauração e conservação em uma região trazem benefícios ambientais, sociais e econômicos a outras regiões, o que atesta a importância da gestão compartilhada das bacias hidrográficas.

- Aumentar, via SBN, a resiliência contra os efeitos das mudanças climática prova ser estratégia de adaptação de sucesso, capaz de evitar grandes prejuízos potenciais.

# Resumo dos principais resultados

Este estudo comparou o Estado Ambiental Atual (dados de 2005) com um estado positivo (**AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**) e um negativo (**PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**) para valoração dos serviços ambientais



## Perda de infraestrutura natural

Considera **potencial desmatamento** em áreas mais propensas à ocupação antrópica.

**Supressão de 1.620 ha** mais ameaçados

Manutenção de 3.239 ha de **pastagens degradadas** em seu estado atual

Manutenção de **estradas rurais em seu estado atual**



## Aumento de infraestrutura natural

Considera **conservação integral e recuperação de áreas prioritárias** para a segurança hídrica, além de estradas rurais readequadas.

**Conservação ativa de 1.620 ha** mais ameaçados

**Restauração de 3.239 ha de pastagens degradadas** e posterior conservação por meio de PSA

**Adequação de 169 km** de estradas rurais

**Conservação de 14.149 ha** em remanescentes menos ameaçados + **453 ha protegidos** pelo projeto "Produtor de Água do Rio Vermelho"



### Perda de infraestrutura natural



### Com Mudança Climática



### Aumento de infraestrutura natural



### Com Mudança Climática

Benefícios da infraestrutura natural para os SAMAEs

SAMAE SBS

-R\$ 25 mil/ano

-R\$ 43 a -35 mil/ano

+R\$ 106 mil/ano

+R\$ 110 a +114 mil/ano\*

SAMAE RN

-R\$ 39 mil/ano

-R\$ 79 a -60 mil/ano

+R\$ 205 mil/ano

+R\$ 214 a +222 mil/ano\*

\*Aumento de custos

\*Benefícios + custos evitados

# Quantificação de serviços ecossistêmicos

	 <b>Serviço ecossistêmico relacionado</b>	 <b>Perda de infraestrutura natural</b>	 <b>Com Mudança Climática</b>	 <b>Aumento de infraestrutura natural</b>	 <b>Com Mudança Climática</b>
Processo físico					
Variação na produção de sedimentos carreados aos corpos d'água (retenção de sedimentos)	Menor aporte de sedimentos	+5% Alto Rio Vermelho* +1% Baixo Rio Vermelho +11% Rio Negrinho II +9% Rio Banhados	+10 a 14% Alto Rio Vermelho +5 a 10% Baixo Rio Vermelho +17 a 21% Rio Negrinho II +14 a 19% Rio Banhados	-47% Alto Rio Vermelho* -54% Baixo Rio Vermelho -39% Rio Negrinho II -49% Rio Banhados	-42 a 44% Alto Rio Vermelho -50 a 52% Baixo Rio Vermelho -34 a 36% Rio Negrinho II -44 a 46% Rio Banhados
	Menor turbidez da água	+5% Alto Rio Vermelho +1% Baixo Rio Vermelho +16% Rio Negrinho II +13% Rio Banhados	+9 a 13% Alto Rio Vermelho +6 a 10% Baixo Rio Vermelho +23 a 29% Rio Negrinho II +20 a 27% Rio Banhados	-35% Alto Rio Vermelho -44% Baixo Rio Vermelho -54% Rio Negrinho II -67% Rio Banhados	-32 a 34% Alto Rio Vermelho -42 a 43% Baixo Rio Vermelho -47 a 50% Rio Negrinho II -63 a 66% Rio Banhados
Mais infiltração e armazenamento de água no solo (regulação hídrica)	Estabilidade de vazão durante secas (fluxo de recarga, ou <i>baseflow</i> )	-1,4% Alto Rio Vermelho -0,1% Baixo Rio Vermelho -1,6% Rio Negrinho II -1,6% Rio Banhados	#	+1,5% Alto Rio Vermelho +1,7% Baixo Rio Vermelho +1,5% Rio Negrinho II +2,8% Rio Banhados	#
	Redução de picos de vazão nas cheias (fluxo de enxurrada, ou <i>quickflow</i> )	+11,7% Alto Rio Vermelho +1,7% Baixo Rio Vermelho +37% Rio Negrinho II +19% Rio Banhados	+33 a 47% Alto Rio Vermelho +17 a 28% Baixo Rio Vermelho +60 a 76% Rio Negrinho II +38 a 50% Rio Banhados	-11% Alto Rio Vermelho -20% Baixo Rio Vermelho -11% Rio Negrinho II -16% Rio Banhados	+6 a 17% Alto Rio Vermelho -2 a 9% Baixo Rio Vermelho +3 a 13% Rio Negrinho II -4 a +4% Rio Banhados
Manutenção e sequestro de carbono na biomassa florestal (retenção e sequestro de carbono)	Menores concentrações de dióxido de carbono na atmosfera	-4,4% Alto Rio Vermelho -0,3% Baixo Rio Vermelho -24% Rio Negrinho II -8,5% Rio Banhados	#	+7,7% Alto Rio Vermelho +7,5% Baixo Rio Vermelho +12% Rio Negrinho II +15% Rio Banhados	#

# A influência das mudanças climáticas resulta em maiores índices de precipitação para o clima futuro na região; uma vez que eles independem dos efeitos das mudanças de uso da terra representadas pelos estados ambientais alternativos de perda ou aumento de infraestrutura natural, não se contabilizam estes resultados.

\* Considerando o atual ponto de captação de água para abastecimento de São Bento do Sul como o limite entre as porções do Alto e Baixo Rio Vermelho.

# Valoração de serviços ecossistêmicos

Redução de custos		
 <p><b>Serviço ecossistêmico: Retenção de sedimentos</b></p>	<b>Estação de Tratamento de Água - SBS</b>	<b>Estação de tratamento de água - RN</b>
Custo de tratamento da água	<b>-13%</b>	<b>-26%</b>
Custo com disposição do lodo e custo com dragagem	<b>-46,5%</b>	<b>-48,5%</b>

Processo	 <p><b>Serviço ecossistêmico: Retenção de sedimentos</b></p>	 <p><b>Perda de infraestrutura natural</b></p>	 <p><b>Aumento de infraestrutura natural</b></p>
Variação no volume outorgável (50% da Q95%)	Regulação hídrica	Restrição de captação de 514 mil m <sup>3</sup> /ano (-8% de volume produzido)	+12% no limite outorgável (+563 mil m <sup>3</sup> /ano)
Fluxo superficial: enxurradas	Regulação hídrica	-R\$ 544 mil/ano em prejuízos para SBS ou R\$ 4,04 milhões/ano para toda a região	R\$ 242 mil/ano em prejuízos evitados para SBS ou R\$ 1,38 milhão para municípios a jusante
Variação no estoque de carbono	Retenção e sequestro de carbono	R\$ 16,9 milhões Perda de estoque de carbono	R\$ 23,5 milhões Aumento de estoque de carbono

Benefícios da infraestrutura natural para São Bento do Sul e municípios vizinhos

	 <b>Perda de infraestrutura natural</b>	 <b>Com Mudança Climática</b>	 <b>Aumento de infraestrutura natural</b>	 <b>Com Mudança Climática</b>
SBS	-R\$ 570 mil/ano	-R\$ 395 a -997 mil/ano	+R\$ 349 mil/ano	+R\$ 233 a 243 mil/ano*
RN	-R\$ 104 mil/ano	-R\$ 381 a -663 mil/ano	+R\$ 348 mil/ano	+R\$ 153 a 262 mil/ano*
Outros municípios	-R\$ 305 mil/ano	-R\$ 1,25 a -3,2 milhões/ano	+R\$ 1,6 milhão/ano	+R\$ 0,74 a 2,65 milhões/ano*

\* Benefícios + custos evitados

## Análise de Custo x Benefício



### Perda de infraestrutura natural (custo para se evitar a perda de cobertura vegetal simulada)

- Evitar a supressão de **1.620 ha** mais ameaçados, mesmo com a manutenção de **3.239 ha** de **pastagens degradadas**, custa **R\$ 3,03 milhões (VPL) (R\$ 1,87 mil/ha)**.
- Evita, entretanto, perdas esperadas de **R\$ 19,33 milhões (VPL)**.
- **Para cada R\$ 1 investido, R\$ 6,37 de perdas evitadas!**
- Considerando as mudanças climáticas, os prejuízos variam de **R\$ 22,72 a 28,49 milhões (em VPL)**.



### Aumento de infraestrutura natural

- **Conservar 1.620 ha** por meio de PSA, somado à restauração de **3.239 ha de pastagens degradadas** e posterior conservação por meio de PSA, custa **R\$ 15,47 milhões (em VPL) (R\$ 3,18 mil/ha)**.
- Gera, entretanto, benefícios de **R\$ 34,10 milhões (VPL)**.
- **Para cada R\$ 1 investido, R\$ 2,20 de retorno positivo!**
- Considerando as mudanças climáticas, os benefícios variam de **R\$ 25,90 a 45,40 milhões (em VPL)**.

#### Ações de restauração

- 3,24 mil hectares
- R\$ 8,85 milhões (VPL)
- =**R\$ 2,73 mil/ha**



#### Investimento em PSA\*

- 5,31 mil ha
- R\$ 6,46 milhões (VPL)
- =**R\$ 1,22 mil/ha**

\* Os investimentos em PSA incluem aqueles feitos para áreas em restauração, segundo o Estado Ambiental Positivo.

# INTRODUÇÃO

### Soluções baseadas na Natureza (SBN)

são ações inspiradas e apoiadas pela natureza, que proporcionam benefícios ambientais, sociais e econômicos e ajudam a construir a resiliência. Podem ser ações de gestão sustentável, proteção e restauração de ecossistemas naturais ou modificados, que contribuem para a solução de desafios enfrentados pela sociedade, como, por exemplo, água, mudanças climáticas, segurança alimentar ou desastres naturais (European Commission, 2015).

O Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) pode ser compreendido como um importante mecanismo de Soluções Baseadas na Natureza (SBN). O PSA é um instrumento que oferece um incentivo econômico para aqueles que propiciam a preservação e recuperação dos recursos naturais de maneira a melhorar a oferta dos serviços ecossistêmicos\*.

Em 2011, o projeto de PSA Produtor de Água do Rio Vermelho foi instituído pela Prefeitura Municipal de São Bento do Sul-SC na bacia do Rio Vermelho, e contou desde o início com a parceria da Fundação Grupo Boticário e do Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMAE) para sua estruturação. Essa iniciativa contribuiu para a conservação de cerca de 450 hectares de Floresta com Araucárias e Campos Naturais, alguns dos ecossistemas mais ameaçados no Brasil. O SAMAE, autarquia vinculada à prefeitura de São Bento do Sul, é responsável pela gestão do projeto e investe recursos próprios para incentivar os proprietários a conservar os recursos naturais em suas propriedades, e a adotarem boas práticas de uso do solo, por meio do PSA na bacia do Rio Vermelho. Atualmente, 18 propriedades estão vinculadas ao projeto. Em conjunto com a Secretaria

Municipal de Meio Ambiente, o SAMAE estuda a possibilidade de ampliação do projeto nesta e em outras bacias de importância estratégica para a gestão dos recursos hídricos no município.

O objetivo da Fundação Grupo Boticário ao realizar este estudo foi identificar os benefícios da conservação e recuperação das áreas naturais nas bacias hidrográficas do município de São Bento do Sul, aplicando-se a abordagem de “Soluções Baseadas na Natureza” para aumento da segurança hídrica, considerando também os impactos da mudança do clima. Com base nestes resultados, poderemos contribuir com os processos de tomada de decisão, direcionando os investimentos para as regiões com maior retorno, bem como subsidiar tecnicamente uma possível ampliação da área de implantação do Projeto de PSA, utilizando o enfoque de Soluções Baseadas na Natureza.

## São Bento do Sul

O município de São Bento do Sul localiza-se no norte catarinense, e ocupa uma área de 49,6 mil ha. A economia é predominantemente industrial, tendo a agropecuária papel secundário no município. Entretanto, as áreas naturais e as paisagens notáveis da sua porção rural começam a trazer outras oportunidades econômicas, como o turismo e o lazer. A cobertura de vegetação nativa ainda é expressiva, com cerca de 65% da área total das três maiores bacias preservada. Há uma significativa diferença entre o padrão de ocupação da bacia do Rio Vermelho (com 74,3% de remanescentes naturais e apenas 0,4% de áreas urbanizadas), do Rio Banhados (com 58,1% de remanescentes e 8,9% de área urbana) e do

Rio Negrinho II (com 52,3% de remanescentes e 14,6% de área urbana).

As bacias hidrográficas de São Bento do Sul são notórias por sua alta declividade média (em torno de 23%), o que faz com que haja suscetibilidade alta às enxurradas. Há também presença de algumas áreas inundáveis, notadamente na bacia do Rio Banhados (que detém esse nome justamente por conta destas áreas) e na bacia do Rio Negrinho II. As águas que se formam no município de São Bento do Sul contribuem, mesmo que parcialmente, para a ocorrência de enxurradas não apenas no próprio município, mas também em municípios vizinhos. O Rio Vermelho é um dos formadores do Rio Itapocu, que atravessa o município de Jaraguá do

Sul, contribuindo com aproximadamente 1/3 de sua vazão neste local<sup>2</sup>. Mais a jusante, o Rio Itapocu (que serpenteia pela área urbana de Jaraguá do Sul) recebe outros importantes afluentes, os rios Jaraguá e Itapocuzinho. Em 2004, o **Rio Vermelho** passou a ser o único manancial de água superficial para abastecimento público de São Bento do Sul, substituindo o Rio Negrinho II. Atualmente, o SAMAE-SBS se dedica a estudar novas opções de abastecimento para o município, já que a demanda hídrica começa a se aproximar do valor atualmente outorgado. Uma das opções estudadas é a captação no Rio Negro, rio de porte bem maior que faz a divisa entre os estados do Paraná e Santa Catarina.

# Serviços Ecosistêmicos

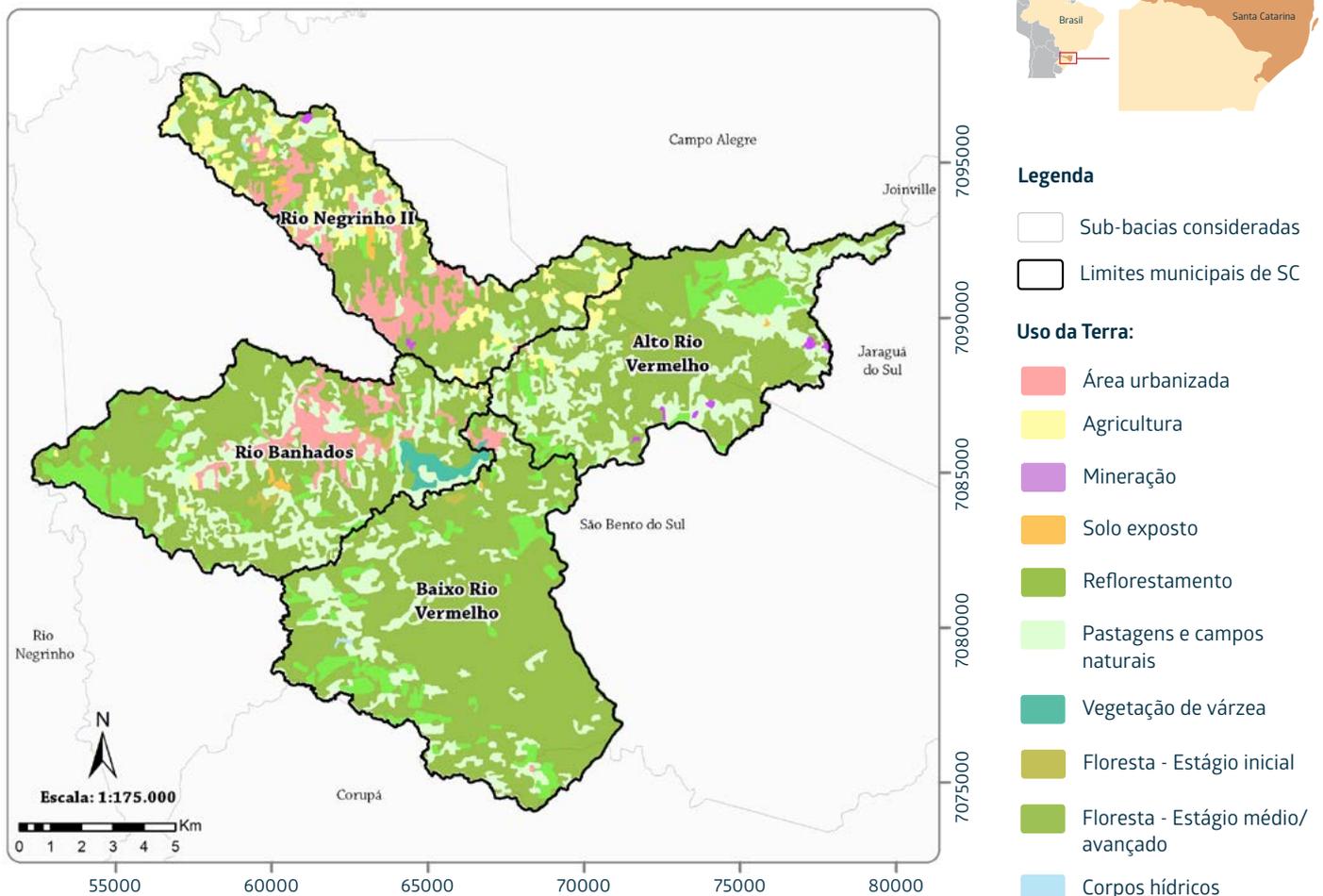


\* Serviços ecossistêmicos são os benefícios obtidos da natureza, direta ou indiretamente, por meio dos ecossistemas, a fim de sustentar a vida no planeta. Serviços ambientais são as atividades humanas individuais ou coletivas que favorecem, direta ou indiretamente, a preservação, a conservação, a manutenção ou a melhoria dos serviços ecossistêmicos (MEA, 2005).

# Uso da Terra na Área de Estudo

## Mapa de Uso e Cobertura da Terra da área de estudo

Fonte de Dados Cartográficos: FATMA, 2005



Os estudos hidrológicos normalmente se baseiam em dados de monitoramento e séries históricas. Porém, com os impactos da mudança do clima, basear-se apenas em séries históricas pode deixar os estudos incompletos. As previsões climáticas para a região Sul se referem principalmente ao aumento de pluviosidade e à maior frequência de eventos extremos, como enxurradas e alagamentos (PBMC, 2015). A temperatura também deve apresentar um padrão de aumento, com redução dos episódios de geadas e de dias frios. Além disso, várias são as pesquisas<sup>3</sup> sobre projeções climáticas que indicam modificações no padrão de distribuição da precipitação, com aumentos no volume

total e na intensidade dos eventos climáticos extremos na região de Santa Catarina onde São Bento do Sul está localizada.

Para uma estimativa mais precisa das modificações no regime de precipitação em escala geográfica apropriada, optou-se pela simulação do clima futuro mediante a aplicação regionalizada do Modelo Climático Global (MCG) MIROC5, para o período 2020-2050 (30 anos), um dos modelos globais predominantemente utilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As alterações nos padrões de chuva e temperatura estão relacionadas aos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 do Quinto

Relatório de Avaliação do IPCC (IPCC, 2013). Observa-se incrementos nos volumes precipitados que variam entre 7,3% e 13,2%, conforme o cenário de emissões e a bacia analisada. O cenário climático RCP 4.5, mesmo representando menores concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera do que o RCP 8.5, surpreendentemente ocasionaria maiores incrementos no volume total de chuvas que o cenário de emissões mais pessimista. Tal efeito é possível devido ao fato de que outros fatores climáticos além da temperatura também influenciam o regime pluviométrico local, como os ventos e a umidade relativa do ar (ALMAGRO et al, 2017).

# SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS E INFRAESTRUTURA NATURAL

Os serviços ecossistêmicos escolhidos para avaliação foram a **retenção de sedimentos** e a **regulação hídrica**, além do serviço de **retenção de carbono atmosférico**. Esses três serviços ecossistêmicos relacionados à existência de vegetação natural foram avaliados com uso de indicadores quantitativos nos cenários analisados – as bacias hidrográficas dos rios Vermelho, Negrinho II e Banhados. Cabe salientar que optou-se por dividir a bacia hidrográfica do Rio Vermelho em duas áreas, considerando o atual ponto de captação de água para abastecimento de São Bento do Sul como o limite entre as porções do Alto e Baixo Rio Vermelho. Tal decisão metodológica foi tomada visando a possibilidade de se realizar uma análise mais apurada no que se refere aos benefícios da infraestrutura natural para a atual captação.

Com a definição dos serviços ecossistêmicos a serem mensurados, o próximo passo foi identificar onde a infraestrutura natural pode ser mais efetiva na provisão de tais serviços, mediante uma metodologia multicritério (KOSCHKE et al, 2010). As bacias hidrográficas mencionadas foram avaliadas quanto aos seus componentes de

hidrogeologia, solos e declividade, investigando-se características que tornam certas áreas mais efetivas na prestação dos serviços ecossistêmicos avaliados, ou, ao contrário, características que fazem com que as áreas sejam indutoras de processos de degradação de serviços ecossistêmicos (carreamento de sedimentos, enxurradas etc.), sendo estas consideradas como áreas críticas. A metodologia também visa priorizar áreas considerando finalidades complementares, como: i) adequação ambiental; ii) conservação da biodiversidade; e iii) proteção e recuperação de áreas vulneráveis. Foram também delimitadas as Áreas de Preservação Permanente (APP) degradadas que devem ser restauradas conforme a legislação vigente (Lei Federal nº 12.651/2012).

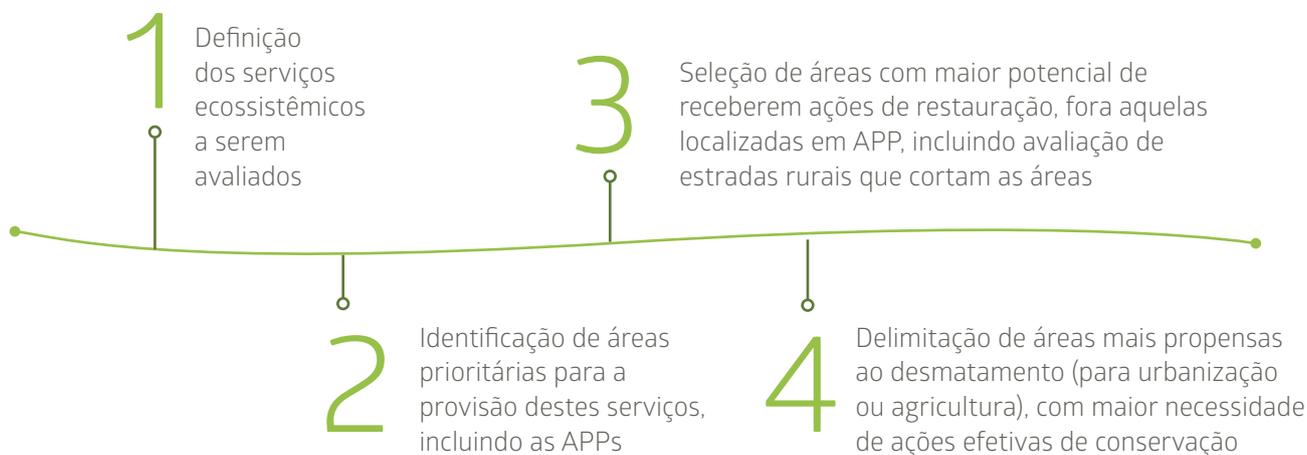
O terceiro passo foi a seleção de áreas prioritárias fora de APP com maior potencial de receberem ações de restauração ecológica, seguida de conservação. A partir da avaliação da economia agrícola local, foi possível avaliar que o uso antrópico em áreas rurais que gera o menor retorno de investimento atualmente é a criação extensiva de gado em pastagens. Sendo assim, as pastagens foram conside-

radas como as áreas mais aptas para restauração. Os trechos das estradas rurais que cortam as bacias analisadas foram avaliados no sentido longitudinal, isto é, ao longo da estrada, para a identificação de trechos que apresentassem declividades superiores a 20%, sendo estes trechos considerados os mais necessitados de adequação<sup>4</sup>.

Convencionou-se que florestas nativas mais próximas a áreas urbanas e agricultura (até 1 km) seriam áreas de maior tendência a serem convertidas para estes usos. Também se convencionou que áreas de floresta em terrenos mais planos (até 12% de declividade) são as mais cobiçadas para usos alternativos, por apresentarem mais facilidade de uso agrícola (principalmente em relação a mecanização) ou urbano (mais facilidade de implantação de infraestrutura urbana). Definidas essas duas métricas, a análise do tipo *overlay* permitiu que fossem identificadas as áreas de floresta nativa no uso atual (ano base 2005) com maior tendência a desmatamento ou usos alternativos (*input* para a **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**).

# Áreas Prioritárias para Infraestrutura Natural

Em resumo, o passo a passo para elencar as áreas prioritárias para infraestrutura natural foi o seguinte:



Em relação às áreas identificadas como prioritárias a partir dos aspectos e critérios descritos, foram selecionadas:

Áreas de Preservação Permanente hídricas degradadas

**1.591,80 hectares**

Áreas priorizadas por critérios físicos com pastagens (maior potencial de serviços ecossistêmicos ou maior vulnerabilidade ambiental)

**2.301,60 hectares**

Trechos de estradas de alta declividade

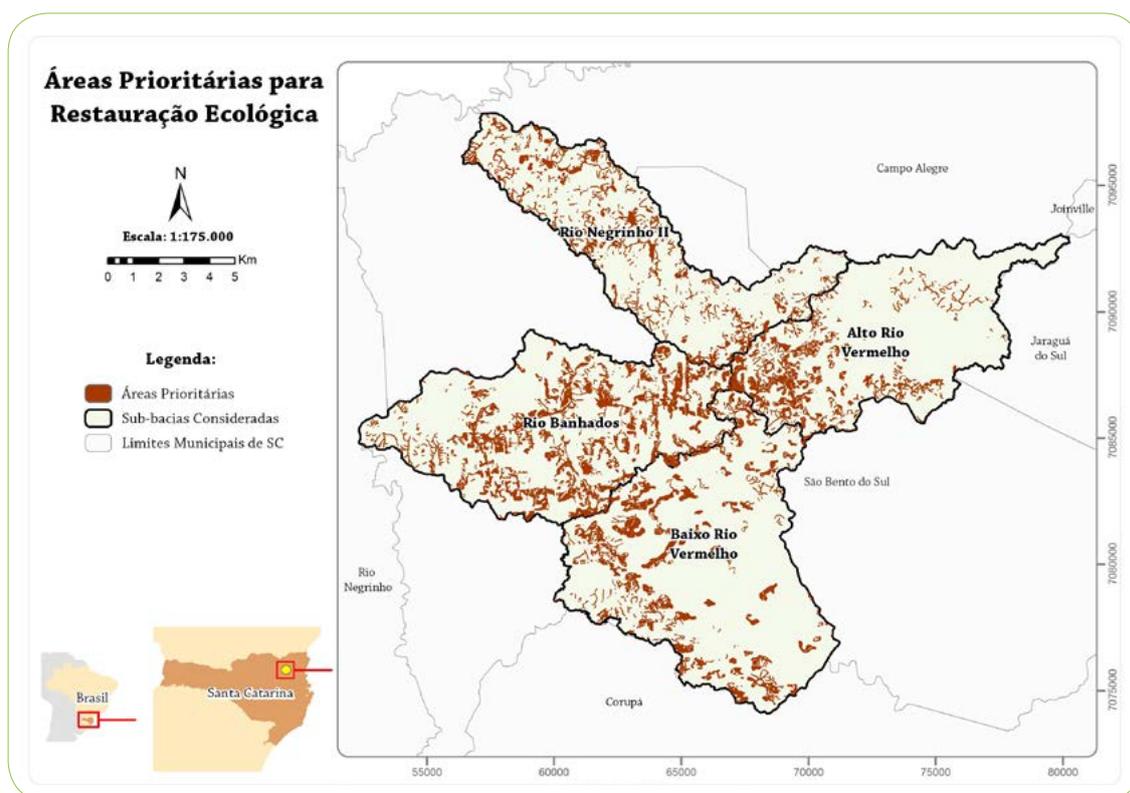
**169 km**

Como há sobreposição entre as duas primeiras categorias de áreas prioritárias, a **área prioritária total para restauração ecológica resultou em 3.238,9 hectares (13% da área total)**.

## Quadro 1 - Áreas prioritárias para conservação e restauração florestal

Bacia Hidrográfica	Áreas Prioritárias (ha)	Áreas Prioritárias (% das áreas prioritárias)	Áreas Prioritárias (% da área da bacia)
Alto Rio Vermelho	566,8	17,5%	10,9%
Baixo Rio Vermelho	936,0	28,9%	12,7%
Negrinho II	576,5	17,8%	12,1%
Banhados	1.159,5	35,8%	18,5%
<b>TOTAL</b>	<b>3.238,9</b>	<b>100%</b>	-

## Áreas prioritárias para restauração ecológica



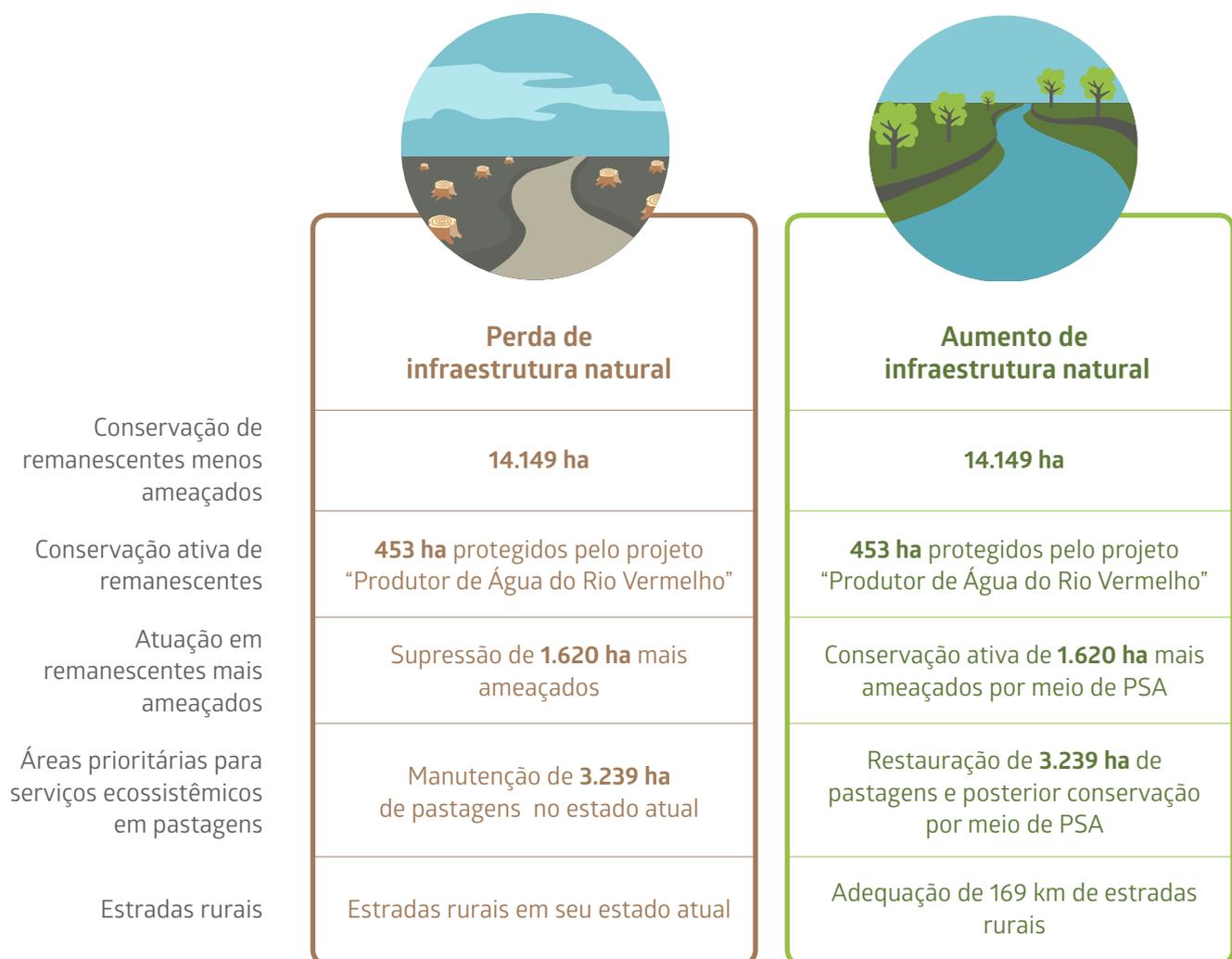
As áreas de remanescentes florestais identificadas como mais propensas a serem suprimidas na **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, seja por fatores de proximidade a áreas urbanas e agrícolas ou por topografia favorável, somaram 1.629,60 hectares e estão distribuídas entre as bacias analisadas conforme quadro a seguir.

**Quadro 2 - Áreas mais suscetíveis à supressão (PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL)**

Bacia Hidrográfica	Áreas Prioritárias (ha)	Áreas Prioritárias (% das áreas prioritárias)	Áreas Prioritárias (% da área da bacia)
Alto Rio Vermelho	296,4	18,2%	5,4%
Baixo Rio Vermelho	26,1	1,6%	0,3%
Negrinho II	863,8	53,0%	17,1%
Banhados	443,3	27,2%	6,7%
<b>TOTAL</b>	<b>1.629,6</b>	<b>100%</b>	-

# Estados Ambientais Alternativos (Positivo e Negativo)

De acordo com a abordagem de avaliação de alteração de serviços ecossistêmicos, a elaboração final dos Estados Ambientais Alternativos (Positivo e Negativo), para **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** e **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, se baseou em mudanças de uso da terra hipotéticas em relação ao Estado Ambiental Atual. Este é baseado na informação cartográfica de uso do solo mais detalhada e atual que se obteve (FATMA, 2005), e traz as condições vigentes em termos de infraestrutura natural. É a linha de base sobre a qual serão investigadas mudanças positivas e negativas.



## Perda de infraestrutura natural

Considera potencial desmatamento em áreas mais propensas à ocupação antrópica. Indica o valor dos serviços ecossistêmicos gerado pelas áreas de infraestrutura natural com maior possibilidade de serem suprimidas.

## Aumento de infraestrutura natural

Considera conservação integral e recuperação de áreas prioritárias para a segurança hídrica, além de estradas rurais readequadas. Comparado à linha de base, indica o valor de potencial melhoria na prestação de serviços ecossistêmicos.

A photograph of a small waterfall cascading over mossy rocks in a lush forest. The water is white and frothy as it flows over the dark, wet stones. The surrounding vegetation is dense and green, with moss growing on the rocks and the forest floor. The overall scene is serene and natural.

**QUANTIFICAÇÃO  
DOS SERVIÇOS  
ECOSSISTÊMICOS  
MEDIANTE  
ALTERAÇÕES NA  
INFRAESTRUTURA  
NATURAL**

# Quantificação dos Serviços Ecossistêmicos mediante alterações na infraestrutura natural

Foi aplicado o modelo de exportação de sedimentos da ferramenta InVEST (v. 3.3.3)<sup>5</sup> considerando o uso do solo atual na região (equivalente ao Estado Ambiental Atual), visando obter estimativas de **erosão total** (quantidade de solo que se desprende do seu local original) e de **aporte de sedimentos** (porção da erosão total que chega efetivamente aos corpos d'água) nas três bacias analisadas. Esses dados foram comparados com dados de monitoramento disponíveis para os rios Vermelho e Banhados, sendo possível observar uma boa aproximação entre a estimativa via modelagem e os dados observados via monitoramento.

Considerando-se o clima atual e o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, que implica na **conservação**

de **16,2 mil hectares** e na **restauração florestal de outros 3,24 mil hectares em pastagens**, observam-se resultados expressivos na estimativa de potencial de redução na exportação de sedimentos nas quatro unidades hidrográficas analisadas, sendo que os maiores benefícios são indicados para o Baixo Rio Vermelho (diminuição de 54%) e para a bacia do Rio Banhados (48%). No estado negativo (supressão de florestas) o aumento estimado na exportação de sedimentos aos rios não foi tão expressivo, com maiores incrementos na bacia do Rio Negrinho II (11%) e do Rio Banhados (9%); de qualquer maneira isto denota a importância de se preservar os remanescentes naturais que ainda existem nestas duas bacias em processo de urbanização.

Variação no aporte de sedimentos	 Perda de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática	 Aumento de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática
Alto Rio Vermelho	+5%	+10 a 14,2%	-46,5%	-41,9% a -44%
Baixo Rio Vermelho	+0,7%	+5,4 a 9,5%	-54%	-50 a 51,5%
Rio Negrinho II	+11%	+16,7 a 21,2%	-39%	-33,7 a 36,2%
Rio Banhados	+9%	+14,3 a 18,7%	-48%	-44 a 46%

Em todas as bacias analisadas há acréscimo no aporte de sedimentos por conta dos efeitos climáticos, tanto no estado ambiental atual quanto considerando **AUMENTO ou PERDA de infraestrutura natural**. A bacia do Rio Negrinho II seria a mais impactada pelas alterações nos regimes pluviométricos futuros, com aumentos na exportação de sedimentos de 16,7% a 21,2% (RCP 8.5 e RCP 4.5, respectivamente). Já com o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, mesmo com alterações climáticas, as reduções no aporte de sedimentos, mesmo que menores, ainda são expressivas em todas as bacias, variando de

34% a 52%. Na bacia do Alto Rio Vermelho, onde está a captação de água do SAMAE-SBS, o uso de infraestrutura natural ainda resulta em esperada **redução de 41,9% no aporte de sedimentos**, mesmo com a mudança do clima.

**Conclui-se que a conservação e recuperação ambiental garantem benefícios positivos em forma de maior retenção de sedimentos, além de se mostrarem consistentes na mitigação dos efeitos perversos trazidos pelas mudanças do clima**, indicando desta forma o **aumento de resiliência às mudanças climáticas pelo aporte de infraestrutura natural**.

## Estimativa da Variação Potencial de Concentração de Sólidos e Turbidez

Para subsidiar análises econômicas acerca da potencial redução de custo de tratamento e de dragagem das águas provenientes das bacias prioritárias, os valores obtidos por meio de modelagem (valores em ton/ano) foram convertidos em valores de concentração média de sólidos suspensos (valores em mg/l), e por fim transformados em valores correspondentes de turbidez (UNT).

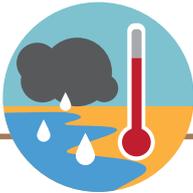
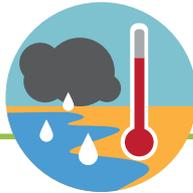
Os impactos negativos sobre a turbidez com um hipotético desmatamento no Alto Rio Vermelho sofreriam um notável crescimento devido às mudanças climáticas, **passando de 4,6% no cenário climático atual para 13% no cenário climático mais desfavorável**. Este efeito de incremento adicional da turbidez devido ao desmatamento nos cenários climáticos futuros também é muito grande nas bacias dos rios Negrinho II e Banhados, com um aumento da turbidez até 100% maior no cenário de emissões RCP 4.5 em relação ao aumento esperado no cenário negativo e clima atual.

A bacia do **Rio Banhados**, que é importante afluente do rio que é manancial do município de Rio Negrinho, teria uma **redução potencial na turbidez de até 69%**. Essas reduções previstas na turbidez certamente impactariam positivamente o processo de tratamento de água, tornando menores as necessidades de aplicação de produtos coagulantes como o sulfato de alumínio, e em consequência diminuindo os custos de tratamento.



Marcelo Metzger

Observa-se que o atual manancial de abastecimento público de São Bento do Sul, o Alto Rio Vermelho, apresenta um potencial significativo de redução da turbidez média por meio de ações de infraestrutura natural.

Variação de concentração de sólidos e turbidez	 Perda de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática	 Aumento de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática
	Alto Rio Vermelho	4,6%	-9 a 13%	-35%
Baixo Rio Vermelho	0,7%	5,5 a 10%	-44%	- 42 a 43%
Rio Negrinho II	16%	23 a 30%	-54%	-46 a 50%
Rio Banhados	13%	20 a 26,6%	-69%	-62,5 a 65,5%

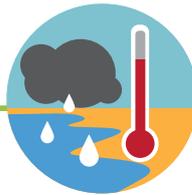
# Quantificação do Serviço Ecosistêmico de Regulação Hídrica

É importante compreender a dinâmica dos fluxos hídricos sazonais, especialmente durante a estação seca, quando a contribuição da água da chuva infiltrada no solo na época de chuvas é fundamental para alimentar as vazões de rios e lagos. Isso requer a compreensão dos principais processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, em particular a repartição entre fluxo rápido e fluxo de base.

Na situação de aumento da cobertura vegetal pelas ações de conservação e recuperação de remanescentes naturais, o incremento em vazão de base é pequeno mesmo na bacia onde haveria a maior restauração relativa<sup>6</sup>: na bacia do Rio Banhados se computou um **aumento de 2,8% nos fluxos hídricos subterrâneos**. Os menores acréscimos de fluxo de base foram observados na parte alta da bacia do Rio Vermelho e no Rio Negrinho II (1,5%). Esses incrementos, ainda que pequenos, foram observados em todas

as bacias do estudo. Da mesma forma, as diminuições no processo de escoamento subterrâneo no cenário negativo são reduzidas, ainda que uniformes, em todas as sub-bacias. Essas variações reduzidas são compreensíveis, visto que um aumento de cobertura florestal, apesar de promover maior infiltração, também ocasiona maior consumo de água por evapotranspiração.

A consequência dos maiores índices de pluviosidade previstos no cenário climático supera os efeitos das mudanças de uso da terra representadas por **AUMENTO** ou **PERDA** de infraestrutura natural, produzindo um significativo acréscimo na vazão de base. Vale notar que este acréscimo chega a ser mais de 30% maior no **AUMENTO DE INFRA-ESTRUTURA NATURAL** em bacias como Rio Negrinho II e Banhados.

	 Variação na regulação hídrica	 Perda de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática	 Aumento de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática
Alto Rio Vermelho		1,4%	+11,7 a 21,3%	+1,5%	+15 a 25%
Baixo Rio Vermelho		-0,1%	+13 a 24%	+1,7%	+16 a 26,5%
Rio Negrinho II		-1,6%	+10,5 a 19,4%	+1,5%	+15,5 a 25,7%
Rio Banhados		-1,6%	+12 a 21%	+2,8%	+17,7 a 28%



## FLUXO RÁPIDO (QUICKFLOW)

Escoamento superficial ocorrendo durante ou logo após eventos de chuva; está muito relacionado à ocorrência de enxurradas.



## FLUXO DE BASE (BASEFLOW)

Relacionado a infiltração e recarga, é a parcela da água que infiltra no solo e que alimenta os escoamentos sub-superficial e subterrâneo.

# Estimativa da Variação no Serviço Ecosistêmico de Mitigação de Enxurradas (*quickflow*)

Em contraste com as discretas variações no fluxo subterrâneo, a quantificação da diferença dos fluxos de escoamento superficial intenso (fluxo rápido) nas comparações dos estados ambientais alternativos indica mudanças expressivas no comportamento hidrológico das bacias quando ocorrem precipitações intensas. A redução estimada nos fluxos superficiais intensos (que estão intimamente relacionados à ocorrência de eventos de enxurradas), pelo aumento da cobertura natural no **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, chegou a ser computada em 20% na porção baixa do Rio Vermelho.

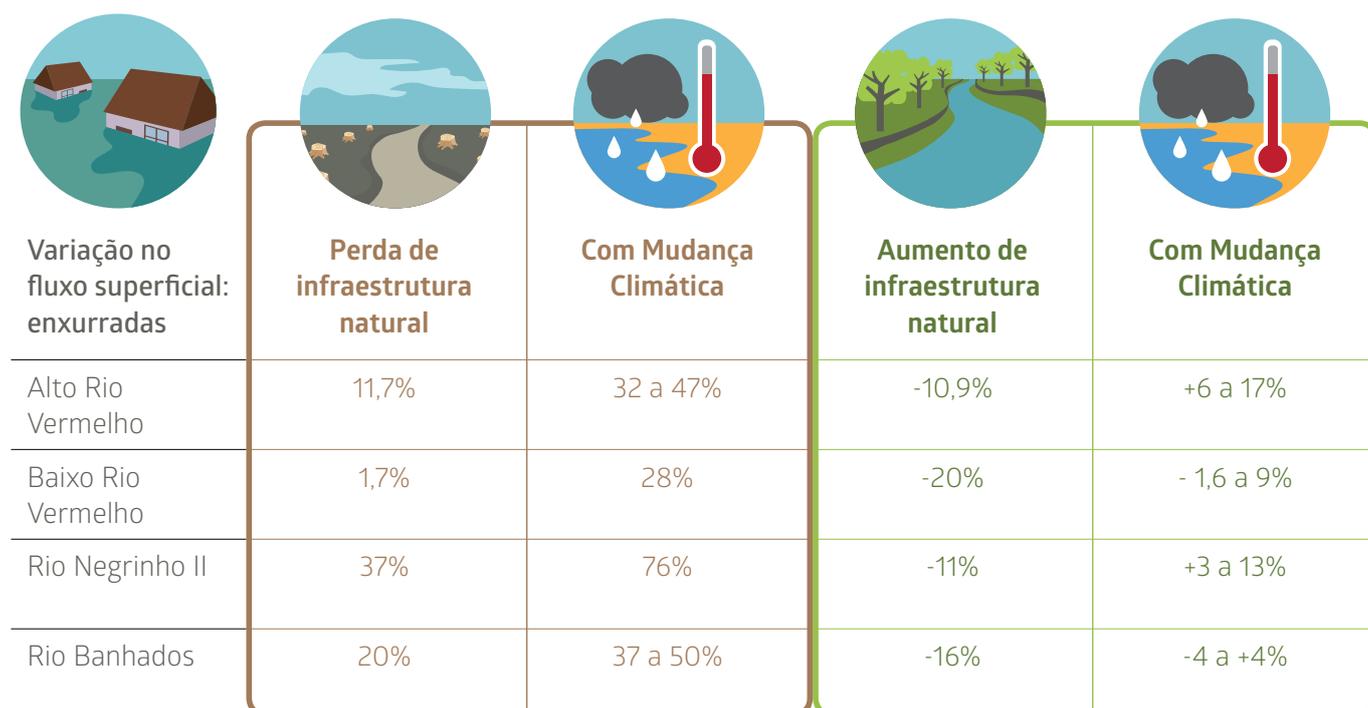
Essa possível redução poderia ser benéfica para a operação do complexo de PCHs gerenciado nesta região pela Usina Rio Vermelho Energia - URVE, já que picos de vazão intensos podem ser um problema para a operação dessas estruturas. Nas bacias dos rios Banhados e Negrinho II, frequentemente castigadas por alagamentos,

poderiam ocorrer diminuições de 16% e 11%, respectivamente, nos fluxos de escoamento rápido, o que certamente traz efeitos positivos por meio da amenização dos picos de vazão. A área a montante da captação do Rio Vermelho também sofreria uma redução nos picos de vazão, o que pode ser entendido como um efeito benéfico, já que escoamentos fluviais intensos estão intimamente relacionados a grandes aportes repentinos de sedimentos, o que em certos casos pode até afetar as operações normais de uma Estação de Tratamento de Água.

Avaliando a **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, deve-se destacar o **expressivo aumento estimado nos fluxos superficiais intensos na bacia do Rio Negrinho II (quase 37%), uma bacia historicamente sensível a enxurradas, com áreas de risco mapeadas pelo CPRM (CPRM, 2014)**. Esse impacto negativo também é significativo na bacia do Rio Banhados

(quase 20% de aumento), que também é sensível a chuvas intensas. Este é um bom indicativo de que não só a recuperação da vegetação natural em áreas prioritárias é importante para a região, mas também a conservação dos remanescentes naturais, principalmente aqueles mais ameaçados, se faz altamente estratégica para a mitigação de enxurradas em São Bento do Sul.

Em um contexto em que as mudanças do clima projetam maiores índices de precipitação para uma região que já é suscetível a enxurradas e inundações, a perda de cobertura florestal (simulada pela **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**) se revela ainda mais danosa. Caso isso ocorra, as vazões de escoamento rápido podem ser ainda mais ampliadas, aumentando em 76% na bacia do Rio Negrinho II, 50% na bacia do Rio Banhados, 47% na parte alta da bacia do Rio Vermelho e 28% na sua parte baixa.



# Quantificação do Serviço Eossistêmico de Retenção e Sequestro de Carbono

O sequestro e armazenamento de carbono é talvez o mais amplamente reconhecido de todos os serviços ecossistêmicos. Ao captar e armazenar o carbono na biomassa e no solo, os ecossistemas retiram o CO<sub>2</sub> da atmosfera, contribuindo para a amenização das mudanças climáticas. Por outro lado, a perturbação desses ecossistemas pode liberar grandes quantidades de CO<sub>2</sub>.

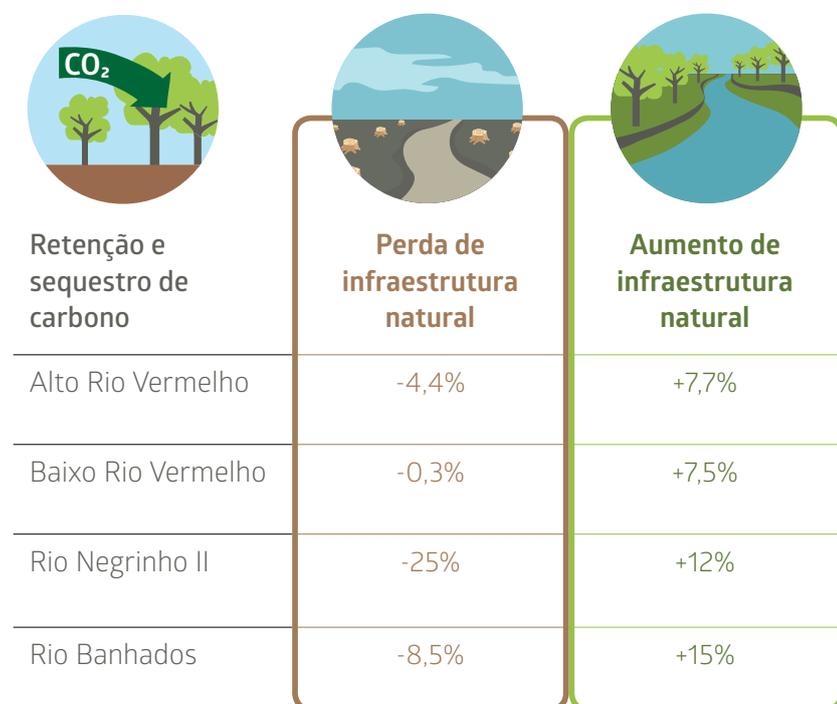
O modelo de carbono InVEST<sup>7</sup> mapeia densidades de armazenamento de carbono a partir de mapas de uso e cobertura do solo. O modelo de valoração estima o valor econômico do

sequestro de carbono em função de: a) quantidade de carbono sequestrado; b) valor monetário de cada tonelada de carbono; c) taxa de desconto; e d) mudança no valor do carbono ao longo do tempo.

Foi aplicado o modelo de avaliação temporal de estoque de carbono da ferramenta InVEST (v. 3.3.3), considerado um horizonte de 20 anos para que as mudanças, tanto positivas como negativas, ocorressem na sua totalidade. Os valores médios de estoques de carbono por hectare para os diferentes usos da terra e diferentes compartimentos foram estimados

com base em RIBEIRO et al. (2013) e SPVS (2011), que fizeram estimativas para a região de Curitiba, a cerca de 90 km de São Bento do Sul.

A bacia do Rio Banhados teria um incremento de 15% nos seus estoques de carbono, enquanto a do Rio Negrinho II teria um ganho de 12%. A bacia do Rio Vermelho, por ser aquela que menos dispõe de áreas prioritárias para restauração ecológica – o que está relacionado ao seu melhor grau de conservação em relação às bacias vizinhas –, apresenta ganhos mais modestos em termos de incremento de carbono.



Chama atenção a grande perda potencial de carbono que a bacia do Rio Negrinho II poderia sofrer com a perda de matas mais próximas de áreas urbanas e agrícolas, quase 25%. Isso **ressalta a importância de se quantificar os serviços ecossistêmicos das áreas já conservadas** e não apenas potenciais benefícios incrementais do aporte de nova infraestrutura natural (restauração ecológica), pois é importante para os gestores poderem ter a quantificação econômica dos riscos de uma possível mudança de tendência na gestão ambiental do município de São Bento do Sul.

Cenários com mudanças climáticas foram desconsiderados nesta análise.

# VALORAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE SÃO BENTO DO SUL

É importante compreender a dinâmica dos fluxos hídricos sazonais, especialmente durante a estação seca, quando a contribuição da água da chuva infiltrada no solo na época de chuvas é fundamental para alimentar as vazões de rios e lagos. Isso requer a compreensão dos principais processos hidrológicos em uma bacia hidrográfica, em particular a repartição entre fluxo rápido e fluxo de base.

# Valoração do SE de Retenção de Sedimentos

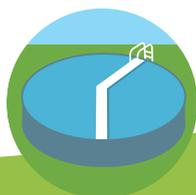


## CUSTO DO TRATAMENTO DE ÁGUA

As bacias dos rios (Alto) Vermelho e Banhados são consideradas para a valoração do serviço ecossistêmico retenção de sedimentos, uma vez que nelas se encontram, respectivamente, a captação para a cidade de São Bento do Sul e um afluente do rio que abastece a cidade vizinha de Rio Negrinho. Em termos de contribuição, estima-se que o Rio Banhados contribua com 46% da vazão do Rio Negrinho, razão essa utilizada para corrigir a influência dos sedimentos gerados pelo Rio Banhados no ponto de captação do SAMAE-RN.

A turbidez é um dos principais elementos de percepção de qualidade da água por usuários domésticos. Sendo assim, as companhias de abastecimento aplicam coagulantes para que haja remoção de sedimentos da água e o atingimento de parâmetros mínimos de qualidade<sup>8</sup>. Estes custos na ETA de São Bento do Sul são estimados em R\$ 61,49 mil por ano. **As projeções de mudanças do clima acarretarão em custos adicionais aos padrões atuais, notadamente para o SAMAE-SBS em sua cap-**

**tação de água no Rio Vermelho.** Caso esses cenários climáticos sejam combinados à **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, haverá reflexo direto no aumento dos custos. Em contraste, com o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** há uma economia de recursos. **Mesmo considerando o impacto da mudança do clima, a economia financeira persiste – ou seja, o aporte de infraestrutura natural não apenas mitiga completamente os impactos da maior variabilidade do clima, como agrega benefícios.**



## DISPOSIÇÃO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA (LETA)

A aplicação de coagulantes para correção da turbidez implica na coagulação e retirada das partículas em suspensão da água bruta, formando o que se denomina de lodo de estação de tratamento de água (ou LETA). Além da diminuição dos gastos com os produtos químicos coagulantes, a redução na turbidez significa, dessa forma, uma economia adicional para o SAMAE-SBS e para o SAMAE-Rio Negrinho com menor geração de LETA. O valor de disposição final em

um aterro sanitário industrial na região de São Bento do Sul e arredores é de aproximadamente R\$ 150 por tonelada disposta, mais R\$ 75 por tonelada para transporte.

Os custos atuais com a destinação adequada de LETA na ETA de São Bento do Sul são estimados em R\$ 67,62 mil por ano, e o equivalente em Rio Negrinho a R\$ 40,58 mil (porção de sedimentos advindos do Rio Banhados). Embora a cidade de Rio Negrinho trate um volume de água

bruta inferior à metade do tratado em São Bento do Sul (devido à sua menor população), os custos com a disposição do LETA são consideráveis. Isso atesta o fato de que há maiores concentrações de sólidos em suspensão no Rio Banhados, principal afluente do Rio Negrinho. As projeções de mudanças do clima acarretarão em custos adicionais aos padrões atuais, tanto para o SAMAE-SBS em sua captação de água no Rio Vermelho, como para o vizinho, Rio Negrinho.



## CUSTOS COM DRAGAGEM

Sob o ponto de vista da geração de benefícios, menores gerações de sedimento resultam em menores necessidades de dragagem, desassoreamento e revitalização da lagoa de captação de água para abastecimento público (informações da própria companhia). A obra contou com a remoção de 9 mil m<sup>3</sup> de sedimentos mediante o uso de draga de sucção e recalque<sup>9</sup>. Contabilizando-se o total do serviço, incluindo a expedição do material dragado para botafora, mobilização

de pessoal, canteiro de obra e outros, o custo por m<sup>3</sup> dragado foi de R\$ 47,07.

As potenciais mudanças do clima acarretarão em custos adicionais aos padrões atuais, tanto para o SAMAE-SBS em sua captação de água no Rio Vermelho, como para o vizinho, município de Rio Negrinho. Este é ainda mais impactado pelo custo de dragagem devido aos sedimentos que ocorrem na bacia do Rio Banhados em maior quantidade.

## Redução de custos com infraestrutura natural

Valoração do SE retenção de sedimentos		 <b>Perda de infraestrutura natural</b>	 <b>Aumento de infraestrutura natural</b>
	SBS	<b>+ 1,7% (R\$ 1,0 mil/ano)</b> +R\$ 2,0 a R\$ 2,9 mil/ano com MC	<b>-13% (R\$ 7,9mil/ano)</b> -R\$ 7,2 a R\$ 7,5 mil/ano com MC
	RN	<b>+ 4,9% (R\$ 0,6 mil/ano)</b> +R\$ 0,9 a R\$ 1,2 mil/ano com MC	<b>-26% (R\$ 3,1 mil/ano)</b> -R\$ 2,8 a R\$ 2,9 mil/ano com MC
	SBS	<b>+5,1% (R\$ 3,4 mil/ano)</b> +R\$ 6,7 a R\$ 9,6 mil/ano com MC	<b>-46,5% (R\$ 31,5 mil/ano)</b> -R\$ 28,3 a R\$ 29,8 mil/ano com MC
	RN	<b>+9,2% (R\$ 3,7 mil/ano)</b> +R\$ 5,8 a R\$ 7,6 mil/ano com MC	<b>48,5% (R\$ 19,7 mil/ano)</b> -R\$ 17,8 a R\$ 18,7 mil/ano com MC
	SBS	<b>+5,0% (R\$ 5,4 mil/ano)</b> +R\$ 10,6 a R\$ 15,2 mil/ano com MC	<b>-46,5% (R\$ 49,7 mil/ano)</b> -R\$ 44,7 a R\$ 47,1 mil/ano com MC
	RN	<b>+9,0% (R\$ 34,6 mil/ano)</b> +R\$ 53,8 a R\$ 70,0 mil/ano com MC	<b>-48,5% (R\$ 182,1 mil/ano)</b> -R\$ 165,2 a R\$ 173,1 mil/ano com MC

# Valoração do SE de Regulação Hídrica



## FLUXO DE BASE (BASEFLOW)

Embora o incremento de vazão de base estimado num cenário de **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** seja discreto, torna possível captar mais água para abastecimento público. Isso permite valorar o serviço de produção de mais água, insumo primário para a companhia de abastecimento. A vazão média atualmente captada no Rio Vermelho para atendimento urbano de São Bento do Sul é de  $0,2063 \text{ m}^3/\text{s}$ , e representa um volume anual de produção de 6,51 milhões de  $\text{m}^3$  (SAMAE-SBS). A restauração de áreas prioritárias (**AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**) eleva a vazão de base, permitindo ampliar o limite outorgável de  $0,2151 \text{ m}^3/\text{s}$  para  $0,2418 \text{ m}^3/\text{s}$  para o Alto Rio Vermelho. Assim, além do limite atual já disponível para captação, o aporte de infraestrutura natural permite produzir um volume adicional de 563 mil  $\text{m}^3/\text{ano}$ , que equivalem a novos  $0,0179 \text{ m}^3/\text{s}$  providos pelo aumento na vazão de base.

A vazão média captada no Rio Vermelho nos últimos 12 meses foi de  $0,2063 \text{ m}^3/\text{s}$ , sendo que restam apenas 278 mil  $\text{m}^3/\text{ano}$  para atingir o limite outorgável. Nesse contexto, tem-se que o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL consegue garantir 21% da vazão adicional requerida pelo município nos próximos 20 anos. A capacidade atual de produção do manancial tende a ser suficiente para menos de quatro anos de demanda; já com o aporte de infraestrutura natural, esse intervalo se estende para praticamente dez anos.**

Já com a **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, ocorreria a **perda da produção de um volume anual de 514 mil  $\text{m}^3$** . Essa perda já impactaria o SAMAE-SBS, pois antes mesmo de se anteverem necessidades de aumento futuro no volume produzido, haveria restrição de produção atual no manancial (o que pode provocar revisão do volume outorgado). A alternativa da companhia de água seria buscar outras fontes, o que pode ocorrer em complementação ou ainda em completa substituição de manancial. Porém, tanto o antigo manancial (Rio Negrinho) como uma possível captação complementar no Rio Negro apresentam piores indicadores de qualidade de água, o que implicaria em maiores custos.

**No Estado Ambiental Atual, a infraestrutura natural já produz, anualmente, valor econômico da ordem de R\$ 15,58 mil/ano para o município de São Bento do Sul**, uma vez que na ausência da infraestrutura natural existente, representada pela análise de **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, haveria uma redução no fluxo de base, e possivelmente na vazão outorgável, o que demandaria uma hipotética captação de 514 mil  $\text{m}^3/\text{ano}$  adicionais em outro manancial, cujos custos de tratamento da água são pelo menos R\$  $0,03/\text{m}^3$  mais caros do que o atual manancial, o Rio Vermelho.



## FLUXO RÁPIDO (QUICKFLOW)

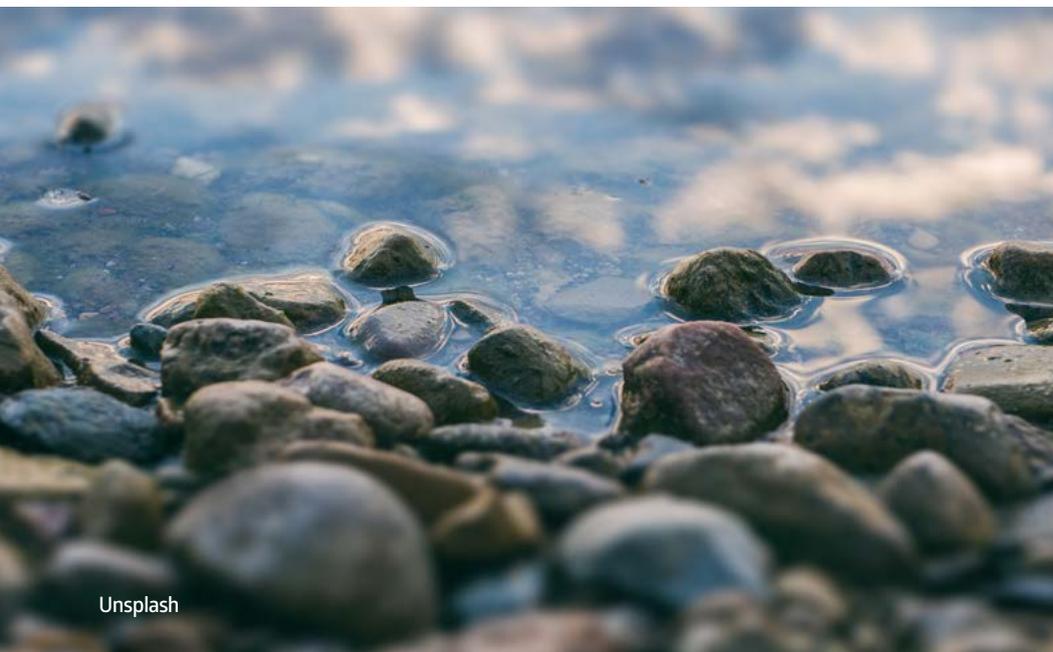
O escoamento rápido (*quickflow*) é diretamente ligado à velocidade de escoamento da água após chuvas intensas, que podem provocar enxurradas e inundações. Sua ocorrência na região levou os municípios a decretarem Situação de Emergência diversas vezes perante a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, do Ministério da Integração Nacional, entre os anos de 2003 e 2016. A valorização deste importante serviço ecossistêmico para São Bento do Sul e região demanda a compreensão do risco<sup>10</sup> que já se abate sobre cada um dos municípios, para então se avaliar as diferenças promovidas pela variação na infraestrutura natural.

Como uma forma simplificada de se estimar os danos por enxurradas no município de São Bento do Sul e região imediatamente no entorno, adota-se o Valor Adicionado Bruto (VAB) do setor de serviços (inclusive os correlatos à administração pública) que deixa de ocorrer por conta dos episódios climáticos atípicos. Para eventos hidrológicos com período de retorno menor do que 100 anos, convencionou-se estimar o valor em

risco como sendo equivalentes a dois dias de VAB de Serviços. Parte-se do pressuposto que, se o evento demanda a declaração de Situação de Emergência, a magnitude de seus efeitos deletérios supera a capacidade de resposta de âmbito local, seguramente comprometendo, no mínimo, dois dias ordinários de atividade econômica no setor de serviços. Já para a ocorrência de eventos com período de retorno superior a 100 anos, cuja intensidade é obviamente maior, convencionou-se estimar o valor em risco como sendo equivalente a sete dias.

**Além da variação nos valores esperados de perdas econômicas pelos eventos de enxurrada no próprio município de São Bento do Sul, este presta serviços ambientais que extrapolam seu território. O AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL, se aplicado exclusivamente em São Bento do Sul, promove a redução de R\$ 1,38 milhão/ano em expectativas de perdas econômicas por enxurrada nos três municípios vizinhos, podendo chegar a R\$ 2,4 milhões em um cenário mais crítico de mudanças climáticas. De**

forma análoga, a manutenção da cobertura vegetal existente no município provê atualmente serviço ecossistêmico da ordem de R\$ 266 mil para os três municípios vizinhos, e que pode chegar a quase R\$ 1 milhão/ano em um cenário de intensas mudanças climáticas. Trata-se de valor revelador, haja vista que o custo de manutenção dos remanescentes recai sobre São Bento do Sul. **Isso ressalta a importância da conservação e recuperação de remanescentes em São Bento do Sul, gerador de externalidades positivas para os municípios a ele conectados pelos corpos d'água compartilhados. De forma geral, o efeito deletério potencialmente trazido pelas mudanças do clima pode ser totalmente mitigado pelo aporte de infraestrutura natural. Caso a PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL ocorra concomitante às mudanças do clima, no entanto, as perdas econômicas conjuntas montariam em adicionais R\$ 4,04 milhões (aumento de perdas econômicas devido a desmatamento e mudanças climáticas em relação à situação atual).**



A capacidade atual de produção do manancial tende a ser suficiente para atender plenamente à demanda somente pelos próximos quatro anos (considerando-se o crescimento da demanda). Já com o aporte de infraestrutura natural, o aumento de vazão de base poderia justificar um aumento de outorga, estendendo o atendimento pleno à demanda pelos próximos dez anos.

# Aumento de segurança hídrica e resiliência com infraestrutura natural

Valoração do SE regulação hídrica		 <b>Perda de infraestrutura natural</b>	 <b>Aumento de infraestrutura natural</b>
	Alto Rio Vermelho	<b>Vazão de base: -50 l/s</b> <b>Vazão outorgável: 190 l/s</b> -8% (514 milhões l/ano)  <b>Perdas econômicas de R\$ 15,58 mil/ano</b>	<b>Vazão de base: +50 l/s</b> <b>Vazão outorgável: 240 l/s</b> +9% (563 milhões l/ano)  <b>Ganho econômico de R\$ 17,08 mil/ano</b>
	SBS	<b>-R\$ 544 mil/ano</b> -R\$ 360 a R\$ 953 mil/ano com MC	<b>+R\$ 242mil/ano*</b> +R\$ 131 a R\$ 146 mil/ano com MC
	Rio Negrinho	<b>-R\$ 65 mil/ano</b> -R\$ 321 a R\$ 584 mil/ano com MC	<b>+R\$ 144mil/ano*</b> -R\$ 33 a +R\$ 68 mil/ano com MC
	Corupá	<b>-R\$ 19 mil/ano</b> -R\$ 55 a R\$ 155 mil/ano com MC	<b>+R\$ 69mil/ano*</b> +R\$ 4 a R\$ 15 mil/ano com MC
	Jaraguá do Sul	<b>-R\$ 181 mil/ano</b> -R\$ 811 a R\$ 2.345 mil/ano com MC	<b>+R\$ 1.168mil/ano*</b> +R\$ 179 a R\$ 283 mil/ano com MC

\*O benefício traduz a redução na perda esperada, ou seja, representa a perda evitada pelo aporte de infraestrutura natural.

## Valoração do SE de Retenção e Sequestro de Carbono

A restauração simulada pelo **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** gera R\$ 23,49 milhões em estoque de carbono<sup>11</sup>. Por outro lado, o desmatamento simulado pela **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL** provoca uma perda de estoque de carbono florestal equivalente a R\$ 16,90 milhões. O **aumento do estoque de carbono**, considerando-se um valor anual médio em 20 anos, vale **R\$ 1,17 milhão/ano**.



# BENEFÍCIOS DA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE INFRAESTRUTURA NATURAL

As análises de benefícios da infraestrutura natural são subdivididas em três grupos distintos de usuários dos benefícios: I) as companhias de abastecimento de São Bento do Sul e de Rio Negrinho; II) os municípios de São Bento do Sul, Rio Negrinho, Corupá e Jaraguá do Sul; e III) a sociedade em geral.

# Benefícios para o SAMAE de São Bento do Sul e Rio Negrinho

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São Bento do Sul (SAMAE-SBS) é usuário direto das águas do Rio Vermelho, pois faz delas seu insumo fundamental para a prestação dos serviços de distribuição de água tratada para a população de São Bento do Sul. Independentemente das intervenções simuladas pelos Estados Ambientais Alternativos, **as mudanças do clima deverão trazer prejuízos ao SAMAE-SBS**. Se o clima futuro ocorresse sob as condições atuais de uso e ocupação do território municipal, a companhia passaria a ter custos acrescidos em R\$ 9 a R\$ 17 mil/ano.

**No AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL, há um potencial ganho de R\$ 106 mil/ano para a companhia, grande parte dele derivado dos menores custos com a dragagem e com a disposição de lodo da ETA, mas também pelo menor uso de produtos químicos coagulantes e pela garantia de maiores volumes de produção de água no atual manancial, cujo custo de tratamento é menor do que as alternativas aventadas.** Os impactos

da mudança do clima, em ambos os cenários modelados para um horizonte temporal de 30 anos (RCP 4.5 e 8.5), causa uma perceptível redução nestes benefícios. O contraste dos valores apresentados demonstra que a ampliação da infraestrutura natural permite mais do que compensar as perdas esperadas pelas mudanças do clima, o que se torna não apenas um alento, mas principalmente uma chamada à ação.

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Rio Negrinho (SAMAE-RN) é usuário das águas do rio homônimo, que tem como principal afluente (até o ponto de captação da companhia) o Rio Banhados, cuja nascente e grande parte da drenagem ocorre no município de São Bento do Sul. A companhia deste município vizinho se beneficia dos serviços ecossistêmicos de retenção de sedimentos, pois estes promovem a redução nos custos de tratamento (por produtos químicos e disposição de LETA) e redução nos custos com dragagem.

Considerando a situação atual, **sem interferências, as mudanças do clima deverão trazer prejuízos de ao menos R\$ 19,7 mil por ano, podendo chegar a até R\$ 36,9 mil por ano ao SAMAE do município de Rio Negrinho.**

**As perdas esperadas com as mudanças do clima podem ser completamente contornadas pelo aporte de infraestrutura natural**, conforme demonstra a análise de **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, na qual os ganhos poderiam somar R\$ 205 mil/ano para o SAMAE-RN.

Interessante notar que a simulação das modificações na infraestrutura natural foi aplicada ao município de São Bento do Sul, e que o município de Rio Negrinho também pode ser afetado (beneficiado ou mesmo prejudicado) por elas. Pode-se então compreender **a economia vigente de R\$ 39 mil por ano que a companhia de abastecimento de Rio Negrinho auferir como um serviço ambiental prestado por São Bento do Sul.**

Benefícios da infraestrutura natural para os Serviços de Água e Esgoto de São Bento do Sul e de Rio Negrinho	 Perda de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática	 Aumento de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática
	SAMAE - SBS	-R\$ 25,4 mil/ano	-R\$ 35,0 a 43,3 mil/ano	+R\$ 106,1 mil/ano
SAMAE - RN	-R\$ 39,0 mil/ano	-R\$ 60,5 a 79,2 mil/ano	+R\$ 204,9 mil/ano	+R\$ 214,4 a 222,7 mil/ano*

\* O benefício traduz a redução na perda esperada, ou seja, representa a perda evitada pelo aporte de infraestrutura natural.

# Benefícios para São Bento do Sul e municípios vizinhos (Rio Negrinho, Corupá e Jaraguá do Sul)

Enquanto os benefícios descritos nos itens anteriores são limitados às companhias de abastecimento de água, estes são auferidos por toda a população e economia local. O valor gerado pela situação de preservação atual, contrastada com a **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, representa **prejuízos para o município de São Bento do Sul da ordem de R\$ 570 mil/ano**. A mudança do clima se apresenta como uma ameaça à população de São Bento do Sul por trazer **prejuízos de até R\$ 163 mil por ano** (sem interferências na infraestrutura natural). Caso estes cenários sejam combinados com a **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, ampliam-se os prejuízos para até R\$ 997 mil/ano. Trata-se de valor significativo, **demonstrando a importância de se conservar o meio ambiente de toda a região. As perdas esperadas com as mudanças do clima podem ser completamente contornadas pelo aporte de infraestrutura natural.**

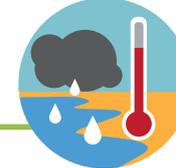
Caso a mudança do clima encontre o Estado Ambiental Atual, isto impõe ao município de Rio Negrinho um custo que varia entre R\$ 64,4 e R\$ 289 mil por ano. O município de Rio Negrinho tem muito a ganhar com a conservação e restauração ambiental que ocorre em São Bento do Sul por receber as águas do Rio Banhados. Os municípios de Corupá e Jaraguá do Sul também se conectam à infraestrutura natural de São Bento do Sul por meio das águas do Rio Vermelho. O estado de conservação de São Bento do Sul interfere nas vazões de pico deste formador do rio Itapocu, produzindo efeitos sistêmicos que se rebatem até a foz deste, no Oceano Atlântico, causando aumento ou redução das perdas econômicas com enxurradas.

O valor gerado pela preservação atual em São Bento do Sul, contrastada com a **PERDA DE INFRAESTRUTURA**

**NATURAL**, representa perdas aos municípios vizinhos da ordem de R\$ 326 mil anualmente. Este valor, considerando impactos da mudança do clima, pode ser ampliado para até R\$ 3,2 milhões por ano, traduzindo em valores monetários a grande importância econômica da conservação dos remanescentes naturais.

Caso a mudança do clima encontre o Estado Ambiental Atual, impõe-se aos municípios da região, por meio de sua conexão hidrológica com São Bento do Sul, um custo que varia entre R\$ 281 mil e R\$ 2,2 milhões por ano. A grande amplitude trazida por estes valores ilustra as incertezas que sublinham a maior variabilidade climática que deverá se fazer sentir na região.

O aporte de infraestrutura natural favorece a resiliência das paisagens rurais e rurais-urbanas, fortalecendo não apenas o município de São Bento do Sul frente a extremos climáticos, mas causando também uma repercussão positiva sobre os municípios vizinhos. Por meio do serviço ecossistêmico de regulação hídrica, notadamente pela amortização de enxurradas (adaptação para eventos de chuvas mais intensas), gera-se valor econômico de grande relevância. Torna-se claro que os municípios de Rio Negrinho, Corupá e Jaraguá do Sul têm muito a ganhar com a conservação e restauração ambiental de São Bento do Sul. **Os valores observados reforçam a prudência em se investir em ações de adaptação às mudanças do clima, principalmente aquelas baseadas em aumento de resiliência de populações e infraestruturas humanas promovidas pela conservação e recuperação de áreas naturais, seguindo o conceito de Adaptação baseada em Ecossistemas (FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO, 2015).**

Benefícios da infraestrutura natural para São Bento do Sul e municípios vizinhos	 Perda de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática	 Aumento de infraestrutura natural	 Com Mudança Climática
	SBS	-R\$ 570 mil/ano	-R\$ 395 a 997 mil/ano	+R\$ 349 mil/ano
RN	-R\$ 104 mil/ano	-R\$ 381 a 663 mil/ano	+R\$ 348 mil/ano	+R\$ 327 a 442 mil/ano
Outros municípios	-R\$ 201 mil/ano	-R\$ 866 a 2.500 mil/ano	+R\$ 1.237 mil/ano	+R\$ 410 mil a 2.210 mil/ano

\* O benefício traduz a redução na perda esperada, ou seja, representa a perda evitada pelo aporte de infraestrutura natural.

# Benefícios para a Sociedade em Geral

A sociedade em geral também se beneficia dos serviços ambientais produzidos pela infraestrutura natural do município de São Bento do Sul. Estes são benefícios pertinentes à melhoria na qualidade do ar, conectividade ecossistêmica, retenção e sequestro de carbono, dentre outros. Destes vários benefícios, a retenção e o sequestro de carbono foram valorados, representando os valores pertinentes à importante categoria de benefícios. Isso

decorre do fato que são valores expressivos, uma vez que capturam relações mais amplas da sociedade para com o ambiente, transpondo o nível local e regional. Caso não se deixe perder a infraestrutura natural de São Bento do Sul, mas tampouco se invista em sua restauração, as mudanças do clima deverão impor à região um custo mínimo de R\$ 431 mil, que pode chegar a até R\$ 2,37 milhões por ano.

Benefícios da infraestrutura natural para a sociedade em geral	 <b>Perda de infraestrutura natural</b>	 <b>Com Mudança Climática</b>	 <b>Aumento de infraestrutura natural</b>	 <b>Com Mudança Climática</b>
	Benefícios diretos para as empresas de água e para a população de SBS e municípios hidrograficamente conectados	-R\$ 0,88 milhão/ano	-R\$ 1,64 a 4,16 milhões/ano	+R\$ 1,93 milhão/ano
Benefícios para a sociedade em geral, valorados por meio da retenção e estocagem de carbono na biomassa florestal	-R\$ 16,90 milhões em carbono estocado que seria liberado para a atmosfera		+R\$ 23,49 milhões em carbono estocado e sequestrado pela biomassa na região de SBS	

\* O benefício traduz a redução na perda esperada, ou seja, representa a perda evitada pelo aporte de infraestrutura natural.



# CUSTOS DA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE INFRAESTRUTURA NATURAL

# Pagamentos por Serviços Ambientais Hídricos

Dentre diversos instrumentos de incentivo econômico, o que vem se mostrando mais atraente aos produtores rurais e mais efetivo em relação à melhoria da qualidade dos recursos hídricos destinados ao abastecimento de água é o **PSA - Pagamento por Serviços Ambientais**. Uma das principais vantagens dos esquemas de PSA é estabelecer formalmente uma relação entre os usuários da água e aqueles que podem incrementar, por meio de ações de manejo da biodiversidade<sup>12</sup> em suas propriedades, a oferta de água de melhor qualidade e em maior quantidade, que são os proprietários de áreas no entorno de mananciais de abastecimento público.

O PSA adota o princípio do provedor-recebedor, por meio do estabelecimento de um fluxo de pagamentos pelo cumprimento de práticas amigáveis aos recursos hídricos e ao solo, sendo uma ferramenta economicamente viável, socialmente benéfica e ambientalmente efetiva se implementada em larga escala. O pagamento pelo serviço ambiental deve motivar o proprietário a não converter áreas para outros fins (ou a recuperar áreas degradadas), e é esse custo de oportunidade que varia de região para região e também em função do perfil da propriedade em cada local.

O projeto “Produtor de Água do Rio Vermelho” mantém preservados 453 hectares e compõe a mais precisa amostra possível para o balizamento dos valores de PSA para o presente estudo. O balizador de valores para o PSA em São Bento do Sul é o custo de oportunidade do produtor rural, calculado sobre o potencial retorno da atividade econômica predominante em um hectare marginal de terra não convertida para fins agropecuários. No intuito de tentar representar a provável composição de custos de uma potencial ampliação do número de propriedades aderentes ao projeto (e, conseqüentemente, do aumento da área a receber PSA), utilizou-se dados financeiros do projeto para estimar uma possível distribuição das categorias fundiárias das propriedades eventualmente agregadas ao projeto:

**R\$ 221,52 ha/ano para 36,4% da área (representa o custo de oportunidade dos pequenos proprietários rurais).**

**R\$ 80,56 ha/ano para 63,6% da área (representa o custo de oportunidade dos médios ou grandes proprietários rurais).**

Considerando-se tal balanço entre propriedades pequenas e maiores, o custo médio ponderado do PSA a ser estimado para uma possível expansão do PSA São Bento do Sul seria de R\$ 131,87/ha/ano (custo de transação<sup>13</sup> do PSA não incluído). Assim sendo, tem-se na consideração do valor médio ponderado do PSA na região do estudo uma referência adequada para representar a ampliação hipotética do projeto. De acordo com os Estados Ambientais Alternativos de perda ou de aporte de infraestrutura natural, tem-se as seguintes áreas sujeitas ao estabelecimento de esquemas de PSA, descritas juntamente aos custos associados:



## Perda de infraestrutura natural (custo para se evitar a perda de cobertura vegetal simulada)

- Manutenção do PSA atual (453 ha, custo anual de R\$ 59,74 mil\*), para evitar o desmatamento da área.
- Estabelecimento de PSA adicional para os 1.620 ha identificados como mais propensos ao desmatamento, ao custo de R\$ 213,71 mil.
- **Total: 2.073 ha ao custo anual de R\$ 273,45 mil.**



## Aumento de infraestrutura natural

- Manutenção do PSA atual (453 ha, custo anual de R\$ 59,74 mil), para evitar o desmatamento da área.
- Estabelecimento de PSA adicional para os 1.620 ha identificados como mais propensos ao desmatamento, ao custo de R\$ 213,71 mil.
- Estabelecimento de PSA para os 3.239 ha identificados como áreas degradadas que necessitam de restauração (e, conseqüentemente, de PSA para que sejam mantidas conservadas após sua restauração), ao custo de R\$ 427,11 mil.
- **Total: 5.312 ha ao custo anual de R\$ 700,56 mil.**

Para a consideração de ambos os Estados Ambientais Alternativos, prevê-se a **manutenção sem custos de uma área de 14.593 hectares**. Trata-se de vasta área conservada no município de São Bento do Sul que não se encontra visivelmente ameaçada, ao menos com base nos critérios aqui definidos, o que não impede que, dentre este conjunto de áreas naturais, aquelas melhor conservadas do ponto de vista de biodiversidade e processos ecológicos sejam objeto de estudos para eventual criação de novas Unidades de Conservação ou áreas protegidas.

## Custos da Restauração de Infraestrutura Natural

Devido à proximidade com a área de estudo, tanto no perfil da região quanto nos custos de serviços, mudas e outros, adota-se a referência **SPVS e FFI (2016)** para aplicação como valores de restauração no **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** em São Bento do Sul. Foram estabelecidos dois perfis de restauração ambiental. Cada qual é detalhado abaixo, com seu devido custo e área para São Bento do Sul:

<p><b>Condução da regeneração natural:</b></p> <p>custo de R\$ 1,38 mil/ha, total de <b>R\$ 2,98 milhões</b></p>	<p>Nas áreas degradadas onde se observa bom potencial de autorregeneração da vegetação, o método de restauração mais adequado é o da condução da regeneração natural. Assumiu-se que <b>dois terços do total</b> a ser recuperado (equivalentes a <b>2.159 ha</b>) podem receber esta técnica mais simples, com base em avaliação expedita da condição das áreas visitadas nas propriedades já participantes do projeto.</p>
<p><b>Plantio total:</b></p> <p>custo de R\$ 6,11 mil/ha, total de <b>R\$ 6,60 milhões</b></p>	<p>Nas áreas degradadas onde não se observam as mesmas condições para a autorregeneração conduzida, a técnica a ser adotada é a de plantio total. <b>Considera-se que existam 1,08 mil ha</b> nestas condições.</p>
<p><b>Adequação de estradas rurais:</b></p> <p>custo de <b>R\$ 950 por quilômetro</b></p>	<p>Objetivam a redução de seu potencial erosivo, perpassando a realização de ondulações transversais e implantação de bacias de retenção. Custo de referência obtido pela consideração da quantidade de horas/máquina necessárias (TNC, 2014).</p>

Desta forma, **os custos totais para incremento e conservação da infraestrutura natural no município de São Bento do Sul perfazem um total de R\$ 15,5 milhões** (incluindo custos de restauração ecológica, adequação de estradas e pagamento por serviços ambientais).

# ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO (ACB) DA CONSERVAÇÃO E RESTAURAÇÃO DE INFRAESTRUTURA NATURAL



# Alocação de Custos e Benefícios no Tempo

Os benefícios que se pode esperar devido ao aporte de infraestrutura natural, como visto anteriormente, foram apresentados em valores pecuniários anuais. O fluxo estimado de incremento cumulativo dos serviços ecossistêmicos nas áreas a receberem restauração ecológica segue as seguintes proporções, considerando o crescimento da nova vegetação:

1º ano	5%	2º ano	15%	3º ano	40%	4º ano	75%	5º ano	100%
--------	----	--------	-----	--------	-----	--------	-----	--------	------

A evolução dos benefícios oriundos do serviço ecossistêmico de retenção e sequestro de carbono, diferentemente dos demais serviços ecossistêmicos considerados, abrange a totalidade do período de 20 anos. Dessa forma, a alocação deste benefício no tempo se faz, arbitrariamente, de forma linear ao longo dos 20 anos (1/20 do valor correspondente a cada ano).

Diferentemente dos benefícios, os custos detêm distribuição temporal definida pelos gestores do projeto. Para fins desta análise, assumiu-se que os custos se distribuem da seguinte forma:

- **PSA para a conservação de infraestrutura natural<sup>14</sup>:** uma vez que o PSA a ser pago aos proprietários envolvidos com ações de restauração guarda relação com o incremento gradual de serviços ecossistêmicos, pode-se supor o fluxo de incremento de 5% no primeiro ano, 15% no segundo ano, 40% no terceiro ano, 75% no quarto ano e 100% a partir do quinto ano (*ramp-up* equivalente ao considerado para os benefícios ambientais).

- **Adequação de trechos prioritários de estradas rurais:** a execução destes serviços ocorre em intervalo de cinco anos, distribuindo-se os custos de forma linear (20% do valor total a cada ano).

- **Restauração de infraestrutura natural:** A execução dos serviços de restauração, mediante plantio total e condução da regeneração natural, ocorre em intervalo de cinco anos, distribuindo-se os custos de forma linear (20%/ano).

- **Manutenção dos serviços de restauração de infraestrutura natural e adequação de trechos de estradas rurais:** um último custo que deve ser considerado – e devidamente alocado no tempo – é referente à manutenção dos serviços contemplados. De forma conservadora, tem-se que estes equivalem a investimentos anuais de 10% do valor total a partir do 11º ano, propositalmente no meio do horizonte temporal, que continuam até o último ano de análise.

# Consolidação da ACB para o AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL

Como opção pela taxa de desconto, adota-se no presente estudo a taxa de juros real de 5,0% de financiamento de longo prazo do Governo Federal. A referência para essa taxa é o rendimento (acima da inflação) do título da dívida pública de longo prazo emitido pelo Tesouro Federal<sup>15</sup>, e espelha o custo para financiar projetos de cunho societário, como é o caso da conservação e aporte de infraestrutura natural. O resultado consolidado da Análise de Custo-Benefício é a **Razão de Custo-Benefício (RCB)**, que traz o resultado da divisão dos custos sobre os benefícios<sup>16</sup>, assim demonstrando o quanto os benefícios superam os custos (valores de RCB menores do que 1) ou o quanto os custos superam os benefícios (valores de RCB superiores a 1). Os valores comparados são, portanto, os **Valores Presentes Líquidos (VPL<sup>17</sup>)** dos custos e dos benefícios, assim calculados mediante a taxa de desconto de 5,0% ao ano.

O contraste entre os custos necessários e os benefícios que se agregam com o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NA-**

**TURAL** no município de São Bento do Sul, conforme as diversas premissas descritas nos capítulos anteriores, resultam na RCB de 0,45, sem considerar a influência de mudanças climáticas. Em nenhum dos cenários climáticos a RCB deixa de ser positiva (menor do que um), embora no RCP 4.5 haja uma melhora da RCB de 0,45 para 0,36; já no RCP 8.5, há piora, passando para 0,60.

Os benefícios de R\$ 34,10 milhões, em Valor Presente Líquido (VPL), superam largamente os custos de R\$ 15,47 milhões, **gerando um retorno líquido da ordem de R\$ 18,63 milhões**. Nota-se o efeito das mudanças do clima sob a geração de benefícios: no RCP 4.5, há um acréscimo para R\$ 45,40 milhões de benefícios (em VPL), enquanto que no RCP 8.5 são 25,90 milhões (novamente em VPL). Ou seja, conforme já se detalhou anteriormente, os custos que se espera incorrer com a mudança do clima são amplamente compensados pelos retornos positivos gerados pela conservação e restauração ambiental.



## Análise de Custo-Benefício sobre o AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL

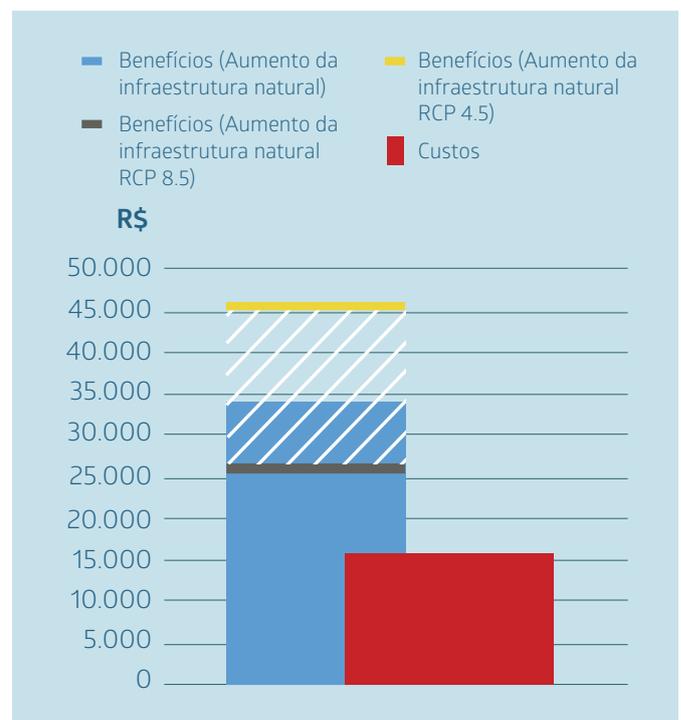
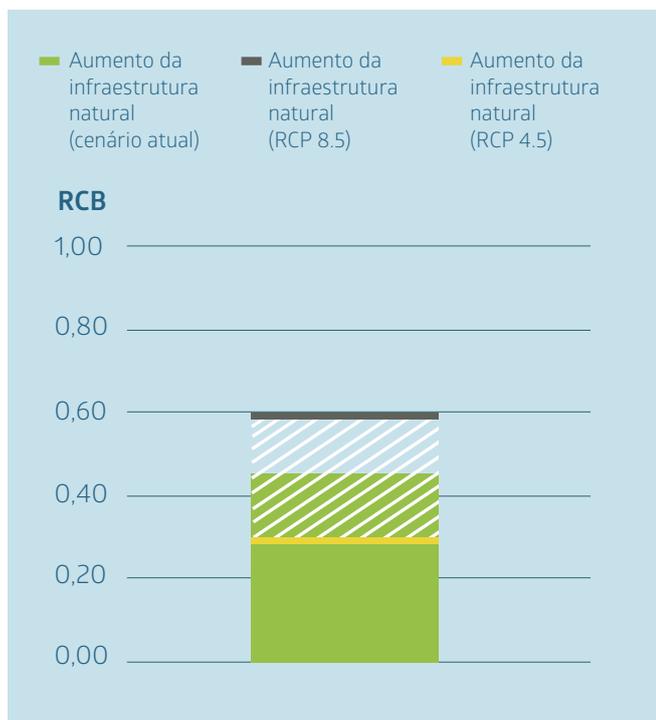
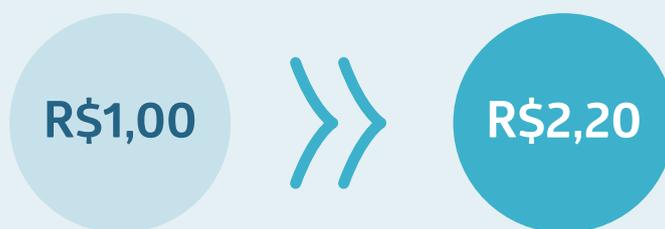


Fig 3 Resultado da ACB para o AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL

Destaca-se que o maior benefício econômico direto proveniente da ocorrência de vegetação natural é o montante de custos evitados frente às enxurradas devido à capacidade de mitigação de efeitos de eventos extremos de precipitação, que, segundo as projeções climáticas para a região, devem se tornar mais intensas e frequentes.

Investimento em **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**

**Benefícios econômicos líquidos à sociedade**



Uma vez que se trata de valores oriundos dos fluxos de benefícios e custos distribuídos ao longo de 20 anos e trazidos a valor presente, os resultados são comparáveis a quaisquer investimentos no momento atual. Ou seja, **caso se efetuem os esforços de conservação e restauração, pode-se esperar o equivalente a R\$ 18,63 milhões em benefícios líquidos gerados à sociedade. Mesmo que sejam desconsiderados os benefícios relacionados ao incremento do estoque de carbono na região, ainda assim os benefícios líquidos atingem R\$ 4 milhões.**

Benefícios da infraestrutura natural, em VPL			
Componentes dos benefícios que compõem a ACB do <b>AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL</b>	Valores estimados (em VPL)	% dos benefícios totais, sem contabilizar carbono	% dos benefícios totais, considerando retenção de carbono
Redução nos prejuízos esperados pelos eventos de enxurrada	<b>R\$ 16,33 milhões</b>	84%	47,9%
Economia nos custos das companhias de abastecimento de água dos municípios de São Bento do Sul e de Rio Negrinho	<b>R\$ 3,13 milhões, sendo:</b>		
	R\$ 2,33 milhões - dragagem evitada	12%	6,8%
	R\$ 0,62 milhão - redução nos custos de tratamento	3%	1,8%
	R\$ 0,17 milhão - produção de água	1%	0,5%
Mitigação das Mudanças Climáticas (retenção e sequestro de carbono)	<b>R\$ 14,64 milhões</b>	-	42,9%
<b>Total</b>	<b>R\$19,46 milhões</b> R\$ 34,10 milhões com a consideração da mitigação das MC	<b>100%</b>	100%

Investimentos em infraestrutura natural são uma potencial fonte de recursos para ampliação de áreas preservadas.

Marcos Alexandre Danieli

Quanto aos custos da implantação da infraestrutura natural, tem-se nas ações de restauração (e posterior) conservação das áreas atualmente degradadas o mais significativo dos investimentos. **Ao todo, implantar a infraestrutura natural nos 3,24 mil hectares detectados como prioritários para restauração demanda 82,7% dos custos totais, em um montante de R\$ 12,79 milhões.** Uma vez que se trata de quantia expressa em VPL, tem-se a consideração do fluxo integral de 20 anos, trazidos a valores atuais mediante a taxa de desconto de 5,0% ao ano.

	R\$, VPL	% do custo total
<b>Custos para implantação da infraestrutura natural (I+II+III)</b>	<b>R\$ 15,47 milhões</b>	<b>100%</b>
<b>I) Restauração e conservação de 3.239 ha degradados (I1+I2)</b>	<b>R\$ 12,79 milhões</b>	<b>82,7%</b>
I 1) Restauração de infraestrutura natural (a+b)	R\$ 8,85 milhões	57,2%
a) Plantio total (1.080 ha)	R\$ 6,10 milhões	39,4%
b) Condução da regeneração natural (2.159)	R\$ 2,75 milhões	17,8%
I 2) Conservação via pagamento por serviços ambientais	R\$ 3,94 milhões	25,5%
<b>II) Conservação de 2.074 ha (II 1+ II 2)</b>	<b>R\$ 2,52 milhões</b>	<b>16,3%</b>
II 1) Conservação via pagamento por serviços ambientais de 453 ha já contemplados pelo Projeto “Produtor de Água do Rio Vermelho”	R\$ 0,55 milhão	3,6%
II 2) Conservação via pagamento por serviços ambientais de 1.621 ha sob ameaça	R\$ 1,97 milhão	12,7%
<b>III) Recuperação de infraestrutura cinza (adequação de 159 km de estradas rurais)</b>	<b>R\$ 0,15 milhão</b>	<b>1,0%</b>

Diferenciando-se as ações de restauração daquelas de conservação, tem-se os seguintes valores demandados (em VPL): R\$ 8,85 milhões e R\$ 6,46 milhões, respectivamente. Muito embora estejam ambos na mesma ordem de grandeza, nota-se que há uma intrínseca **vantagem econômica na manutenção de áreas naturais preservadas**, pois mesmo sendo possível restaurar áreas antropizadas, o custo é maior. Caso as áreas de pastagem que foram consideradas prioritárias para a restauração da infraestrutura natural já estivessem conservadas, demandar-se-iam apenas os custos relativos à sua conservação via PSA, economizando-se assim os exatos R\$ 8,85 milhões (VPL) destinados à restauração (custos de transação do PSA não incluídos).



\* Supondo que os 3,24 mil ha restaurados já estivessem conservados ou restaurados e necessitassem apenas de conservação.

O quadro abaixo traz indicadores que demonstram diferentes aspectos da interação entre os custos e benefícios no seu desenrolar prospectivo no tempo, mediante a consideração destes em equivalência a um projeto de investimento (com suas despesas e receitas). Todos os indicadores de investimento apontam para uma relação bastante vantajosa entre a geração de benefícios e a necessidade de desembolsos, que resulta em um fluxo gerador de caixa livre.

**Quadro 3 - Indicadores de investimento do AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**

	FCD <sup>18</sup> (R\$, mil)	Retorno sobre o Investimento <sup>19</sup>	Taxa Interna de Retorno <sup>20</sup>	Tempo de Retorno do Investimento <sup>21</sup>	Ponto de Equilíbrio <sup>22</sup>	Exposição Máxima de Caixa <sup>23</sup> (R\$, mil)
Considerando Mitigação da Mudança do Clima	128.302	829%	52%	12º ano	6º ano	-1.362
Desconsiderando Mitigação da Mudança do Clima	1.995	-13%	4%	16º ano	10º ano	-1.673

Para avaliar a robustez econômica da Solução Baseada na Natureza proposta, foram realizados testes de sensibilidade, considerando quatro possibilidades distintas: **modificações na taxa de desconto, desconsideração dos benefícios do serviço ecossistêmico de retenção e sequestro de carbono, alongamento no período de alocação dos benefícios e, por fim, variações no custo com PSA**. Nota-se que, **sob quaisquer dessas hipóteses, o investimento necessário para agregar serviços ambientais em São Bento do Sul gera retorno positivo** e superior para este município, sua região e para a sociedade em geral. Ademais, conclui-se que **o aporte da infraestrutura natural consegue mitigar por completo o efeito deletério esperado pelas mudanças do clima**, garantindo a almejada resiliência.

# Consolidação da ACB para a PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL: espelho do valor da preservação atual

**As áreas já preservadas prestam serviços ambientais de grande valor:** ao simular a supressão de 1.620 hectares mais ameaçados (**PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**), tem-se um prejuízo de R\$ 19,33 milhões (em VPL, 20 anos). **Este potencial prejuízo pode ser compreendido como o benefício já gerado pelas áreas preservadas**, ou seja, trata-se do valor da externalidade positiva que as áreas naturais estratégicas de São Bento do Sul geram para seus próprios habitantes e municípios vizinhos. Uma vez que estas áreas estão atualmente sob ameaça de serem suprimidas, torna-se ímpar o avanço de estratégias ativas para sua conservação.

Frente a esses prejuízos potenciais, pode-se realizar uma Análise de Custo-Benefício ao se considerar os custos necessários para manter conservado o ativo ambiental existente (conservação dos remanescentes mais ameaçados), **com uma Razão de Custo-Benefício (RCB) muito vantajosa de 0,16**. Ou seja, os custos incorridos com o PSA para conservação são amplamente retornados na forma de menores prejuízos. Pode-se compreender que **o custo do estabelecimento e manutenção dos pagamentos por serviços ambientais que garantem a conservação das áreas prioritárias são investimentos que retornam benefícios positivos na razão de R\$ 6,37 em benefício para cada R\$ 1,00 investido**.

Investimento para evitar a **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**

R\$1,00



Perdas econômicas evitadas pela conservação

R\$6,37

A mudança do clima impõe aumento dos prejuízos para a região de São Bento do Sul. Na medida em que estes prejuízos podem ser abatidos com investimentos na conservação dos remanescentes, geram RCB equivalentes a 0,11 (RCP 4.5) e a 0,13 (RCP 8.5). Nota-se que a RCB melhora na consideração dos cenários de mudanças do clima, demonstrando que, com os mesmos custos, abatem-se prejuízos potencialmente maiores devido à mudança do clima.

Prejuízos da supressão de infraestrutura natural (remanescentes mais ameaçados)		
Componentes dos benefícios que compõem a ACB da <b>PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL</b>	Valores estimados (em VPL) Período de 20 anos, tx 5% a.a	% dos benefícios totais
Prejuízos esperados pelos eventos de enxurrada	R\$ 8,15 milhões	42,1%
Retenção e sequestro de carbono (perda de carbono estocado)	R\$ 10,53 milhões	54,5%
Prejuízos das companhias de abastecimento de água dos municípios de São Bento do Sul e de Rio Negrinho	R\$ 0,65 milhão	3,4%
<b>Total</b>	<b>R\$ 19,33 milhões</b>	<b>100%</b>

Quanto ao investimento necessário para que haja a preservação dos remanescentes que são mais ameaçados, evitando-se, portanto, os prejuízos, tem-se um VPL de R\$ 3,04 milhões. O valor é referente aos fluxos de pagamento por serviços ambientais voltados à conservação de remanescentes já existentes (que ocorre em 1.620 hectares de preservação identificados como prioritários por serem os mais ameaçados e outros 453 hectares contemplados pelo Projeto “Produtor de Água do Rio Vermelho”).

Os hipotéticos resultados demonstram o excelente negócio auferido pela conservação ambiental, pois com um investimento de R\$ 3,04 milhões se abatem prejuízos esperados da ordem de R\$ 19,33 a R\$ 28,49 milhões (este último sob a influência da mudança do clima RCP 4.5).



### Análise de Custo-Benefício sobre a PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL

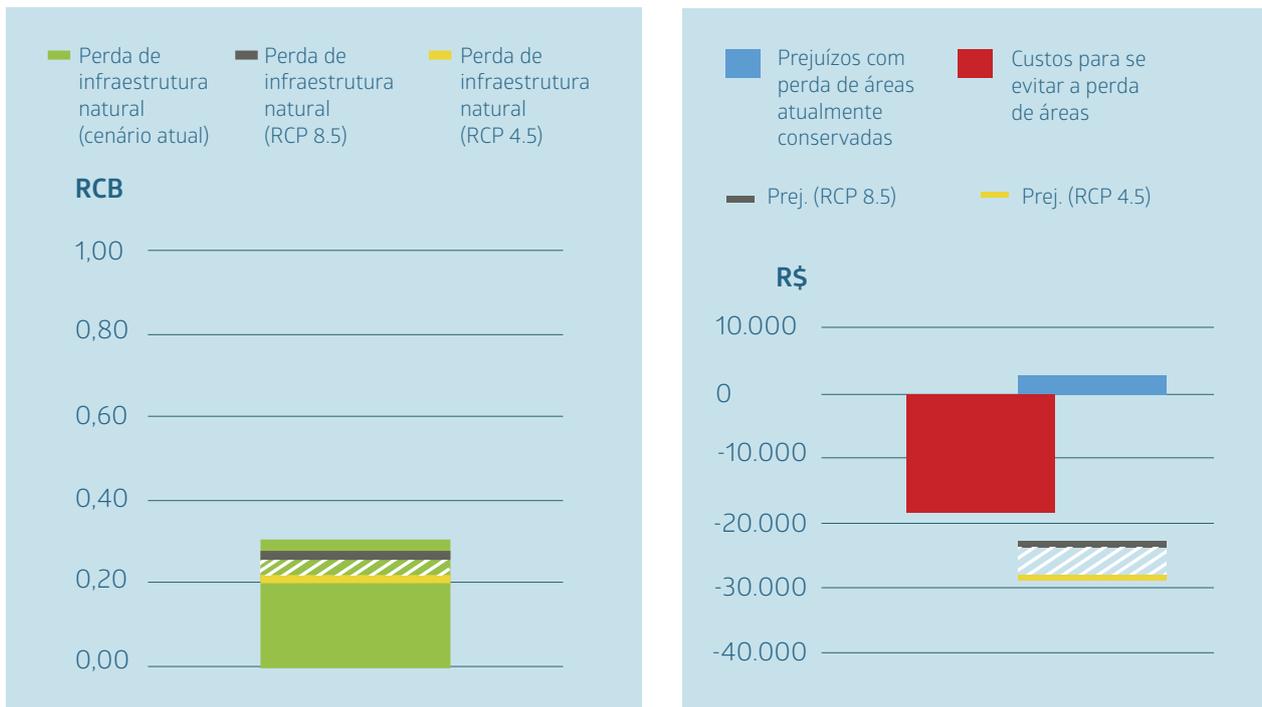


Fig 3 Resultado da ACB para a PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL

## Quadro 4 - Indicadores de investimento da PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL

O quadro abaixo traz indicadores que demonstram diferentes aspectos da interação entre os custos e benefícios no seu desenrolar prospectivo no tempo para a **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**. Tem-se, tal como para o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, a consideração de equivalência entre o fluxo de benefícios ambientais e custos de conservação natural e aquele de um projeto de investimento (com suas respectivas receitas e despesas).

	FCD (R\$, mil)	Retorno sobre o Investimento <sup>24</sup>	Taxa Interna de Retorno*	Tempo de Retorno do Investimento	Ponto de Equilíbrio	Exposição Máxima de Caixa (R\$, mil)**
Considerando Mitigação da Mudança do Clima	138.65	4.569%	--	4º ano	1º ano	--
Desconsiderando Mitigação da Mudança do Clima	232.392	7.658%	--	2º ano	1º ano	--

\*O indicador TIR não pode ser calculado uma vez que se trata de fluxo de caixa exclusivamente positivo.

\*\*Da mesma forma que a TIR, uma vez que se trata de fluxo exclusivamente positivo, não há exposição de caixa.

O resultado de R\$ 138,65 milhões atesta para a geração de valores positivos líquidos ao longo do tempo (20 anos) e confirma a **viabilidade da conservação dos remanescentes florestais** no município, uma vez que representa o valor dos benefícios dos serviços ecossistêmicos gerados pelos remanescentes naturais de São Bento do Sul. A saúde financeira do fluxo de caixa representado pelos benefícios da conservação ambiental é reforçada pelo baixo tempo de retorno do investimento, que em apenas quatro anos apresenta o prazo que se faz necessário para que haja a completa recuperação do capital inicial investido. Outro indicador relativo à distribuição dos valores do fluxo de caixa no tempo é o de ponto de equilíbrio, que demonstra haver geração de caixa positiva a partir do 1º ano – razão pela qual não há exposição de caixa.

Todos os indicadores de investimento apontam para uma relação muito vantajosa entre a geração de benefícios e a necessidade de desembolsos, que resulta em um fluxo gerador de caixa livre. Os testes de sensibilidade foram realizados para as mesmas hipóteses testadas para o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**. **Sob quaisquer dessas**

**hipóteses, o investimento necessário para a manutenção dos serviços ecossistêmicos já gerados em São Bento do Sul resulta em retorno positivo e superior para este município, sua região e para a sociedade em geral**, e a implantação de infraestrutura natural não apenas evita completamente a ocorrência dos prejuízos listados, como ainda produz benefícios positivos.

Medidas de adaptação “sem arrependimento”<sup>25</sup> são aquelas dirigidas à solução de problemas já existentes ao mesmo tempo em que aumentam a capacidade adaptativa da região à mudança do clima, não sendo afetadas pelas incertezas relacionadas ao tema, pois os benefícios são percebidos independentemente do grau de impacto. Os resultados são consistentemente positivos frente aos impactos da mudança do clima e, mesmo com os testes de sensibilidade, nota-se que há retorno positivo – ou seja, mitigação dos impactos, mesmo em um ambiente de considerável incerteza. Torna-se possível concluir, assim, que o aporte de infraestrutura natural é uma ação sem arrependimento para a mitigação dos efeitos negativos das mudanças do clima sobre os recursos hídricos de São Bento do Sul.

# CONTRIBUIÇÕES AO PROJETO “PRODUTOR DE ÁGUA DO RIO VERMELHO”

Este capítulo apresenta a Análise de Custo-Benefício da conservação e restauração de infraestrutura natural no recorte do manancial do Rio Vermelho (porção superior da bacia do Rio Vermelho que segue desde a nascente do Rio Vermelho até o ponto de captação do SAMAE-SBS, totalizando uma área aproximada de 5.460 hectares). Esta área engloba 566,8 hectares de áreas prioritárias para as ações de conservação e restauração florestal (10,9% da área da bacia), outros 296,4 hectares de áreas suscetíveis à supressão (5,4% da área da bacia) e ainda 23,65 quilômetros de trechos de estradas rurais que demandam adequações.

# ACB da Conservação e Restauração de Infraestrutura Natural no Alto Rio Vermelho para o AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL

Para que se concretize o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** na bacia do Alto Rio Vermelho, faz-se necessário realizar os seguintes investimentos:

**Quadro 5 - Custos das ações de restauração e conservação na bacia do Alto Rio Vermelho de áreas que atualmente são dedicadas à pastagem (566,8ha)**

	Restauração (R\$ 1.000)	Conservação (R\$ 1.000)	Adequação de estradas (R\$ 1.000)
Restauração - plantio total (69%)	1.154	--	--
Restauração - condução da regeneração natural	521	--	--
Conservação de remanescentes restaurados (PSA)	--	74/ano	--
Conservação ativa de remanescentes (PSA)	--	98/ano	--
Adequação de estradas rurais	--	--	22
<b>TOTAL</b>	<b>1.675</b>	<b>174/ano</b>	<b>22</b>

No **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, esta área passaria a ser acrescida de 296,4 ha ameaçados de supressão, passando para um total de 749,4 ha e demandando para tanto o valor anual de PSA de R\$ 98,82 mil. Somando-se ambos os PSA (áreas em restauração ou já conservadas), tem-se demanda de R\$ 173,57 mil por ano para a conservação de 1,32 mil hectares na bacia do Alto Rio Vermelho, ou seja, 24,12% da área total.

Os benefícios associados ao **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** estão listados no quadro 6 da página seguinte. Os ajustes necessários para a correta representação dos benefícios oriundos exclusivamente das ações de conservação e restauração na bacia do Alto Rio Vermelho foram os seguintes:

I) proporcionalidade da vazão apenas do Alto Rio Vermelho na contribuição da redução no custo de enxurradas em Corupá e Jaraguá do Sul.

II) proporcionalidade do estoque de carbono apenas para o recorte desejado.

## Quadro 6 - Benefícios das ações de restauração e conservação de infraestrutura natural na bacia do Alto Rio Vermelho para o AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL (R\$, mil/ano) – benefícios de São Bento do Sul para a região

Clima Futuro	Benefícios de 1ª Ordem			Benefícios de 2ª Ordem			B. de 3ª Ordem
	Redução nos custos de tratamento		Produção de água*	Dragagem evitada	Redução no custo de enxurradas		Retenção e sequestro de carbono**
	Químicos	LETA			Corupá	Jaraguá do Sul	
SMC	7,86	31,47	17,08	49,72	22,48	379,23	3.958,53
RCP 4.5	7,20	28,32	17,08	44,74	1,32	91,93	3.958,53
RCP 8.5	7,51	29,79	17,08	47,06	4,79	58,01	3.958,53

\* A produção de água não varia nos cenários climáticos devido à interferência na infraestrutura natural, mas sim pela maior disponibilidade hídrica promovida pelos maiores índices de pluviosidade. Dessa forma, os benefícios econômicos foram limitados aos dos Estados Ambientais Positivo e Negativo.

\*\* O valor da retenção e sequestro de carbono é benefício total para 20 anos, e não anual. Ademais, não é sensibilizado pelos cenários de mudanças do clima.

Tanto os custos como os benefícios associados ao **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, porém exclusivamente voltados para as ações no Alto Rio Vermelho, foram submetidos à mesma lógica da Análise de Custo-Benefício apresentada anteriormente. **A Razão de Custo-Benefício (RCB) resultante de tal projeto é de 0,42**, ou seja, com custos em Valor Presente Líquido (VPL) inferiores aos benefícios, também em VPL. De fato, são gerados R\$ 7,58 milhões em benefícios contra custos de R\$ 3,17 milhões.

**Em nenhum dos cenários climáticos a RCB deixa de ser positiva (menor do que um), embora no RCP 4.5 haja uma melhora da RCB de 0,42 para 0,29; já no RCP 8.5, há piora na RCB, passando para 0,64.** O custo evitado da mudança do clima, que resulta da somatória entre os custos revelados pelo Estado Ambiental Atual e os benefícios líquidos gerados pelo **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** (ambos sob a influência das MC),

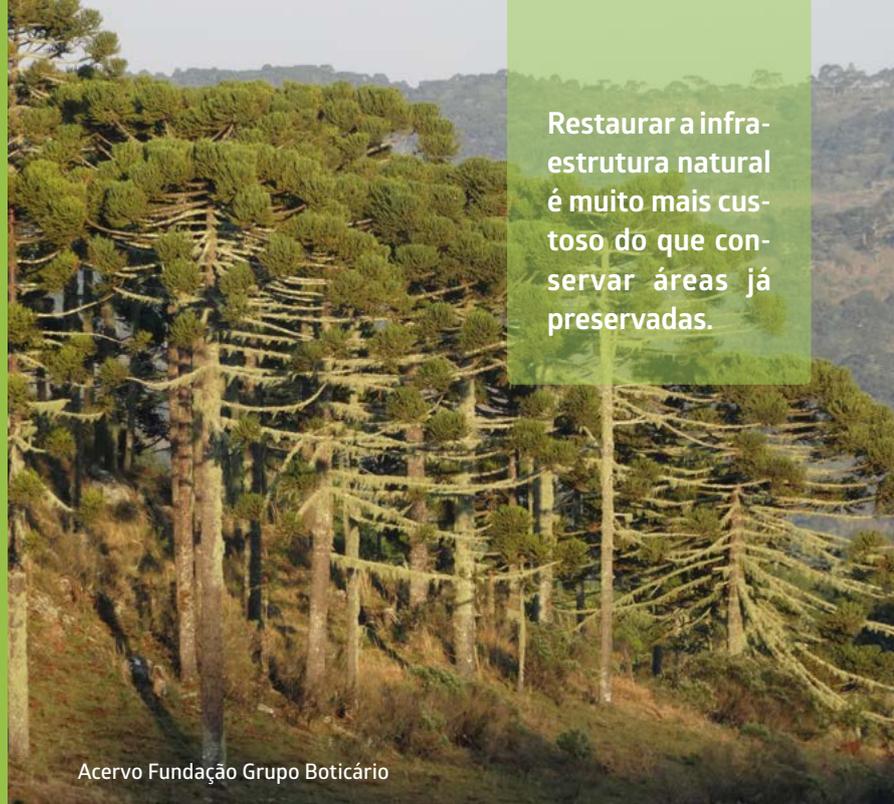
detém um intervalo de R\$ 736,4 mil a R\$ 2,65 milhões por ano para os municípios vizinhos a São Bento do Sul. Estes benefícios são mais significativos em relação à mitigação de enxurradas, visto que estes fenômenos hidrológicos afetam de modo intenso municípios próximos a São Bento do Sul e que têm grande participação na economia do estado de Santa Catarina, como Jaraguá do Sul (8ª principal economia do estado). Ou seja, conforme já se detalhou anteriormente, **os custos que se espera incorrer com a mudança do clima são amplamente compensadas pelos retornos positivos gerados pela conservação e restauração ambiental.**

O quadro 7 abaixo traz os indicadores de investimento, que apontam para uma relação bastante vantajosa entre a geração de benefícios e a necessidade de desembolsos, resultando em um **fluxo gerador de caixa livre da ordem de R\$ 31,73 milhões.**

## Quadro 7 - Indicadores de investimento

	FCD (R\$, mil)	Retorno sobre o Investimento	Taxa Interna de Retorno	Tempo de Retorno do Investimento	Ponto de Equilíbrio	Exposição Máxima de Caixa (R\$, mil)
Considerando Mitigação da Mudança do Clima	31.725	1.000%	70%	11º ano	4º ano	-195
Desconsiderando Mitigação da Mudança do Clima	9.768	308%	19%	17º ano	5º ano	-781

Em quase todas as hipóteses avaliadas em testes de sensibilidade, não há inversão dos resultados positivos. Ou seja, os investimentos na conservação e restauração florestal na bacia do Alto Rio Vermelho resultam em benefícios superiores aos seus custos de implementação e manutenção. A única inversão que ocorre é sob o cenário climático RCP 8.5, quando da desconsideração dos resultados da valoração de 3ª ordem (retenção e sequestro de carbono). Nesse caso, a RCB passa de 1 (1,29), demonstrando que os custos superam os benefícios. De forma geral, os testes de sensibilidade indicam resultados robustos e confiáveis, uma vez que alterações em quatro dos principais parâmetros da simulação mantiveram os resultados positivos em prol da conservação e restauração de áreas no manancial da cidade de São Bento do Sul.



Restaurar a infraestrutura natural é muito mais custoso do que conservar áreas já preservadas.

Acervo Fundação Grupo Boticário

## ACB da Conservação e Restauração de Infraestrutura Natural no Alto Rio Vermelho para a PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL

Como anteriormente explanado, os prejuízos devido à perda de serviços ecossistêmicos com a **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL** podem ser contrastados com os custos de manutenção das áreas já conservadas, criando-se assim uma análise de custo-benefício da manutenção dos remanescentes atuais versus sua perda. Para tanto, entende-se como investimento necessário para os resultados que consideram **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL** o estabelecimento de esquema de PSA para a conservação das áreas prioritárias mais suscetíveis à supressão. Uma vez que se trata da inclusão de 296,4 ha ameaçados de supressão, o custo de tal ação se soma à atual despesa de PSA do projeto em andamento para compor o valor anual de PSA de R\$ 98,82 mil.

Quadro 8 - Prejuízos pela **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL** no Alto Rio Vermelho (R\$, mil/ano)

Clima Futuro	Prejuízos de 1ª Ordem			Prejuízos de 2ª e 3ª Ordem		
	Redução nos custos de tratamento		Dragagem evitada	Redução no custo de enxurradas		Retenção e sequestro de carbono**
	Químicos	LETA		Corupá	Jaraguá do Sul	
SMC	-1,02	-3,42	-5,40	-6,24	-58,91	-2.295,93
RCP 4.5	-2,94	-9,61	-15,19	-50,38	-761,31	-2.295,93
RCP 8.5	-2,03	-6,73	-10,63	-18,00	-263,29	-2.295,93

Ao se tratar os prejuízos como evitáveis a partir do pagamento pelo serviço ambiental de manutenção das áreas atualmente conservadas, evitando-se assim as perdas associadas aos serviços ecossistêmicos prestados por estas áreas, tem-se a realização de uma Análise de Custo-Benefício associado à **PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL**.

A RCB obtida é de 0,57, ou seja, menor do que 1. Dessa forma, ao custo de R\$ 1,33 milhão (em VPL), evitam-se prejuízos da ordem de R\$ 2,34 milhões. Caso o cenário de Mudança Climática RCP 4.5 venha a ocorrer, esse mesmo custo evita prejuízos ainda maiores, de R\$ 3,58 milhões, o que resulta em uma RCB ainda mais positiva, de 0,37; já sob o cenário RCP 8.5,

evitam-se prejuízos de R\$ 3,82 milhões, resultando em uma RCB de 0,35.

O quadro 9 abaixo traz indicadores que demonstram diferentes aspectos da interação entre os custos e benefícios (prejuízos evitados) no seu desenrolar prospectivo no tempo, mediante a consideração destes em equivalência a um projeto de investimento (com suas despesas e receitas). Todos os indicadores de investimento apontam para uma relação bastante vantajosa entre a geração de benefícios e a necessidade de desembolsos, resultando em um fluxo gerador de caixa livre da ordem de R\$ 31,73 milhões.

### Quadro 9 - Indicadores de investimento da PERDA DE INFRAESTRUTURA NATURAL no recorte exclusivo do Alto Rio Vermelho

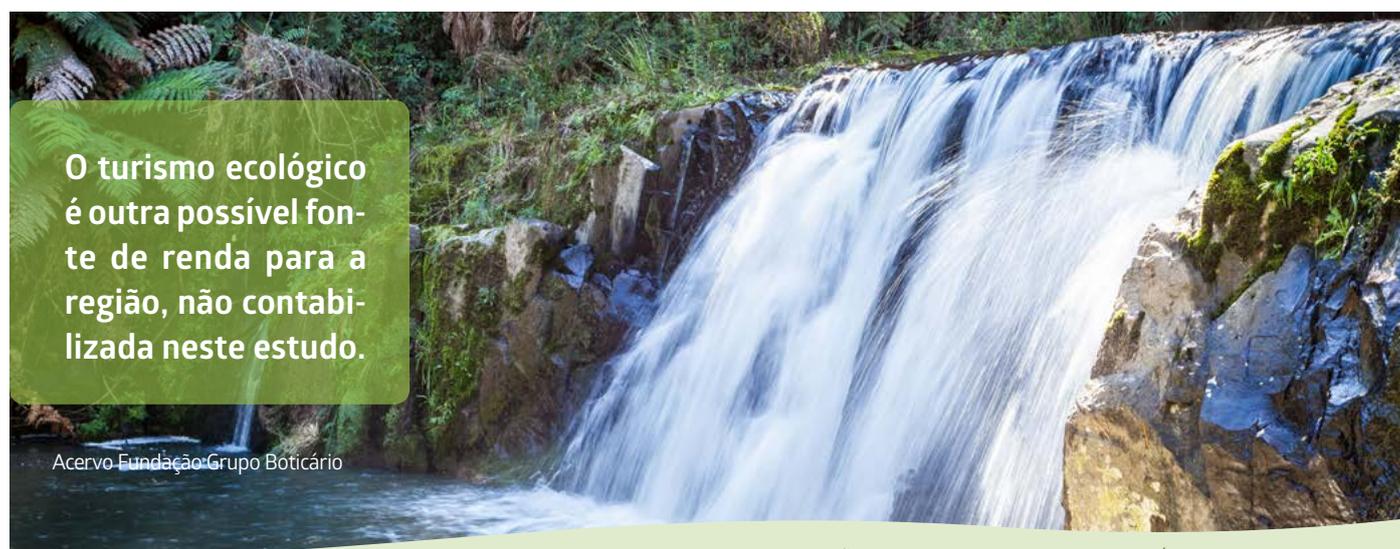
	FCD (R\$, mil)	Retorno sobre o Investimento	Taxa Interna de Retorno	Tempo de Retorno do Investimento	Ponto de Equilíbrio	Exposição Máxima de Caixa (R\$, mil)
Considerando Mitigação da Mudança do Clima	7.829	587%	--	16º ano	1º ano	--
Desconsiderando Mitigação da Mudança do Clima	(4.907)	-368%	--	--	--	--

De forma geral, **os testes de sensibilidade realizados indicam que a conservação dos remanescentes estratégicos, sob a ótica da prestação de serviços ecossistêmicos hídricos, é geradora de benefícios líquidos à sociedade, robustos e confiáveis. Ao se considerar os prejuízos evitados que são potencialmente amplificados pelas mudanças do clima, a conservação torna-se ainda mais estratégica.**

O recorte exclusivo do Alto Rio Vermelho apresenta contribuições para a continuidade e ampliação do projeto “Produtor de Água do Rio Vermelho” dentro de uma abordagem de conservação e restauração de áreas estratégicas para os serviços ambientais no município de São Bento do Sul, pois demonstra que há viabilidade para a internalização das

externalidades positivas geradas pelos serviços ecossistêmicos hídricos.

Ressalta-se que o conjunto de benefícios econômicos identificados pelo estudo se restringe a alguns serviços ecossistêmicos (principalmente aqueles ligados aos recursos hídricos), e que a eventual mensuração e valoração de outros serviços ecossistêmicos certamente incrementaria ainda mais a relação positiva custo-benefício apontada pelo estudo. Destaca-se, por exemplo, o papel que a presença de ecossistemas naturais tem como promotora de serviços ecossistêmicos para as atividades agrícolas, e o possível aumento de atratividade turística do município aos olhos do mercado consumidor de turismo ecológico pelo aumento da qualidade da paisagem.



**O turismo ecológico é outra possível fonte de renda para a região, não contabilizada neste estudo.**

Acervo Fundação Grupo Boticário

A scenic view of a river flowing over mossy rocks in a lush green forest. The water is clear and cascades over several large, rounded boulders covered in vibrant green moss. The surrounding vegetation is dense and verdant, with various shades of green leaves and ferns. The overall atmosphere is peaceful and natural.

# CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES



## Melhorar a disponibilização de informações e o monitoramento

### Aperfeiçoamento da rede de monitoramento de recursos hídricos na região

As instituições encarregadas do monitoramento dos recursos hídricos locais (EPAGRI, ANA), além de empresas da região, podem investir em sistemas de monitoramento mais completos e robustos, de forma que as intervenções possam ser melhor identificadas pela análise de variações de parâmetros de quantidade e qualidade de água<sup>26</sup>, possibilitando mais agilidade na identificação de riscos e também na avaliação de benefícios de ações de recuperação e conservação da infraestrutura natural.

### Aperfeiçoamento das projeções para o clima futuro da região

Este aperfeiçoamento pode se dar das seguintes maneiras: a) adicionar estimativas dos regimes climáticos futuros geradas por outros modelos considerados pelo centro de referência em mudanças climáticas no Brasil (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE); b) buscar junto ao INPE acesso aos resultados de projeções climáticas realizadas com o uso de modelos regionalizados em “altíssima resolução”, como o modelo regionalizado Eta-HadGEM2-ES com 5 km de resolução espacial; c) buscar junto ao governo estadual indicativos de impactos da mudança do clima sobre diversos setores da economia estadual.

### Estudos complementares sobre outros serviços ecossistêmicos

Os impactos positivos da infraestrutura natural em bacias destinadas à provisão de água para abastecimento podem promover I) a retenção de sedimentos; II) a regulação hídrica; III) a retenção e sequestro de carbono; IV) a retenção de nutrientes; e V) a redução de erosão. Destes cinco serviços ecossistêmicos, três foram valorados pelo presente estudo. A consideração dos demais serviços certamente acresceria o já extenso rol de benefícios gerados pela conservação e restauração, além de inúmeros co-benefícios que não foram considerados, mas que naturalmente agregam externalidades positivas na prática. Dentre os benefícios que são gerados e poderiam ser valorados estão: controle de erosão, formação do solo, ciclagem de nutrientes, tratamento de dejetos, polinização, controle biológico, produção de alimentos, regulação de microclima e provisão de recreação/turismo.



## Planejamento com base em resultados de estudos locais

### **Adaptação à Mudança do Clima**

Ao simular, por meio de modelagem de serviços ecossistêmicos hídricos, a possível resposta das bacias hidrográficas analisadas a cenários que integram mudanças climáticas com alterações no uso do solo, o estudo avaliou o potencial de redução de impactos negativos das mudanças projetadas no regime de chuvas da região, demonstrando que ações de conservação e recuperação da cobertura vegetal natural das principais bacias de São Bento do Sul são medidas efetivas do ponto de vista de adaptação às mudanças climáticas, trazendo benefícios para toda a região. A elaboração de um Plano de Adaptação regional ajudaria a entender as possibilidades de sinergias de forma integrada.

### **Aplicação parcial de recursos previstos no Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico em ações de infraestrutura natural**

O Plano Municipal Integrado de Saneamento Básico de São Bento do Sul (2015) prevê investimentos para os próximos anos de cerca de R\$ 50 milhões para a universalização do serviço de abastecimento de água, compreendendo, dentre outras ações, o aumento da produção de água no município. Outros R\$ 10 milhões são previstos para a melhoria do sistema de drenagem urbana, visando principalmente a mitigação dos efeitos das enxurradas decorrentes de chuvas intensas. Como demonstrado no presente estudo, as ações de infraestrutura natural propostas poderiam auxiliar no atingimento desses objetivos, tanto no que se refere ao aumento da disponibilidade hídrica como na redução do potencial destrutivo das enxurradas. Com base nessas observações, sugere-se aqui que ações de infraestrutura natural façam parte de uma eventual revisão ou nova versão do Plano, visto que as mesmas podem ser complementares às ações de engenharia tradicional previstas e imprescindíveis ao município.



## Ações integradas de Soluções baseadas na Natureza

### Busca de engajamento de municípios vizinhos em uma estratégia regional de Soluções Baseadas na Natureza

Como o presente estudo demonstrou que os benefícios para o bem-estar das populações e da economia gerados pela conservação e recuperação de ecossistemas naturais no município de São Bento do Sul se estendem de forma expressiva e mensurável para municípios vizinhos a jusante das bacias analisadas, é interessante primeiramente que o SAMAE-SBS e a Prefeitura de São Bento do Sul busquem comunicar de forma clara e incisiva (em fóruns como o Consórcio Quiriri) que os esforços já realizados e aqueles em planejamento trazem um aumento inegável da segurança hídrica de municípios como Rio Negrinho e Jaraguá do Sul. **A criação de áreas protegidas, gestão territorial e ampliação do PSA traria benefícios para toda a região.**

### Hierarquização das áreas prioritárias (ordenamento de ações)

Como a extensão de áreas apontadas no presente estudo como prioritárias para ações de conservação e recuperação de ecossistemas é expressiva (cerca de 20% da área analisada), é necessário que se definam entre os agentes da política municipal de serviços ambientais e seus parceiros **critérios de hierarquização temporal das ações de infraestrutura natural aqui sugeridas**. Esses critérios podem estar baseados em premissas ou preferências, como, por exemplo: a) favorecer primeiramente os serviços de abastecimento de água ou os sistemas de drenagem (combate às enxurradas); b) iniciar intervenções onde potencialmente poderia ser obtida melhor relação custo-benefício; c) favorecer intervenções ligadas a requisitos legais, como a aplicação do Código Florestal.

### Criação de áreas protegidas em zonas de maior sensibilidade hidrológica

Uma eficiente estratégia de mitigação de efeitos de eventos climáticos extremos (como enxurradas) é a implementação de “parques lineares” ou outras áreas protegidas. Sendo assim, recomenda-se que o município de São Bento do Sul considere em futuras revisões de seu Plano Diretor a criação de parques lineares e outras propostas de manutenção/recuperação da infraestrutura natural em áreas estratégicas para a geração de serviços ecossistêmicos. O estímulo à criação de Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN) é outro bom exemplo a ser seguido por São Bento do Sul, para garantir a perpetuidade de proteção de áreas prioritárias para conservação dos recursos hídricos (além de atender aos objetivos de conservação da biodiversidade), contando com o apoio da população. Alguns municípios têm benefícios para proprietários de áreas naturais preservadas, como Curitiba, por exemplo.

### Avaliação de Hotspots para segurança hídrica e climática no estado

É possível ampliar o estudo realizado na região de São Bento do Sul para o estado de Santa Catarina, buscando uma análise das áreas mais críticas no estado para o fornecimento de água e para aumento de resiliência, criando um Programa Estadual de Conservação de Áreas Naturais para Segurança Hídrica e Resiliência Climática, com base em estudos similares.



## Estudos complementares sobre possíveis estratégias de financiamento

### Estudos complementares sobre possíveis estratégias de financiamento

Como os investimentos em infraestrutura natural necessários para a potencial obtenção dos benefícios de segurança hídrica previstos no presente estudo são expressivos, faz-se necessário o desenvolvimento de uma estratégia robusta para a captação de investimentos de fontes complementares àquelas normalmente disponíveis (tributos e recursos federais e estaduais previstos na Constituição). Possíveis fontes de recurso são aqui listadas: a) recursos de comitês de bacia; b) convênios com a Agência Nacional de Águas, coordenadora do Programa Produtor de Água (ao qual o projeto “Produtor de Água do Rio Vermelho” está associado); c) recursos provenientes de compensação ambiental decorrente de processo de licenciamento ambiental; d) conversão de multas ambientais; e) financiamentos por meios diversos (tais como financiamentos de projetos por agências de fomento, agências de cooperação e desenvolvimento internacionais ou, ainda, fundos específicos para clima e meio ambiente, tais como AFD, GEF, CAF, GIZ, GCF, entre outros).

### Possibilidades de alterações tarifárias

Uma das estratégias de financiamento das ações de conservação e restauração florestal no município de São Bento do Sul poderia ser a inclusão dos custos associados na tarifa de água. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, em São Bento do Sul há 26,64 mil economias ativas em água<sup>27</sup>, que contribuem com um valor médio<sup>28</sup> mensal de R\$ 41,43 pelo serviço de distribuição de água tratada. Certamente, seria necessário um estudo tarifário detalhado para a adição de uma taxa específica para ações de conservação e recuperação de infraestrutura natural na tarifa de água em São Bento do Sul, assim como discussões com a população. Por outro lado, existe viabilidade para tal e outros municípios já implantam essa medida como alternativa financeira.

Uma vez que o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** traz, em VPL, um custo de R\$ 3,17 milhões para as ações específicas na bacia do Alto Rio Vermelho, tem-se uma média anual de custos da ordem de R\$ 158,58 mil. Caso esse valor fosse rateado pelas 26,64 mil economias ativas em água, acrescentaria o custo anual de R\$ 5,95 por economia (mensalmente, este valor seria de R\$ 0,50). A tarifa média mensal de água, de R\$ 41,43, subiria para R\$ 41,93, ou seja, um acréscimo de apenas 1,2%.

Considerando o custo de se implantar o **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL** nas quatro bacias de estudo, o custo total seria de R\$ 15,47 milhões em VPL, ou seja, uma média anual de R\$ 773,40 mil. Caso esse valor fosse rateado pelas 26,64 mil economias ativas em água, acrescentaria o custo anual de R\$ 29,03 por economia, ou mensalmente R\$ 2,42. A tarifa média mensal de água, de R\$ 41,43, subiria então para R\$ 43,85, ou seja, um acréscimo de 5,84%.



# NOTAS DE RODAPÉ E REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Marcelo Metzger

O presente documento é o resumo executivo de dois estudos para a região de São Bento do Sul - SC elaborados pela Fundação Grupo Boticário:

• **Avaliação da infraestrutura natural de bacias hidrográficas do município de São Bento do Sul-SC como medida de Adaptação Baseada em Ecossistemas** para mitigação de inundações e melhoria da disponibilidade hídrica, considerando o cenário atual de uso do solo e clima, e os impactos de mudanças climáticas previstas e mudanças de uso do solo;

• **Quantificação e mapeamento de provisão de serviços ecossistêmicos** com aplicação da ferramenta de modelagem InVEST e valoração econômica dos benefícios da infraestrutura natural para a segurança hídrica do município de São Bento do Sul.

Os estudos completos encontram-se com a equipe de Soluções Baseadas na Natureza, da Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, disponíveis para consultas sob demanda.

## NOTAS DE RODAPÉ

1. Considera-se enxurrada como sendo o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. (Fonte: Defesa Civil de Santa Catarina).
2. As vazões de referência têm como fonte a base de dados geográficos da Associação de Municípios do Vale do Itajaí - AMVALI. Disponível em: [http://sig.amvali.org.br/layers/amvali%3Avazoes\\_rio\\_itapocu\\_wgs84](http://sig.amvali.org.br/layers/amvali%3Avazoes_rio_itapocu_wgs84).
3. Referências das pesquisas disponíveis na versão completa do estudo.
4. A base cartográfica para tal foi a "Mapoteca Topográfica Digital de Santa Catarina" EPAGRI/IBGE. Disponível em: <http://ciram.epagri.sc.gov.br/mapoteca/>.
5. Para a simulação do processo de aporte de sedimentos aos rios das bacias hidrográficas analisadas foi utilizado o modelo de Razão de Exportação de Sedimentos (Sediment Delivery Ratio) da ferramenta de avaliação e mapeamento de serviços ecossistêmicos InVEST (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs), desenvolvida pela iniciativa Natural Capital Project, cooperação entre a Universidade de Stanford, The Nature Conservancy - TNC e WWF.
6. Foi aplicado o modelo de vazão sazonal da ferramenta InVEST (v. 3.3.3) para o uso e cobertura da terra "atual" 2005 para obter estimativas de fluxos de base e de "fluxo rápido superficial".
7. Para esta simulação foi utilizado o modelo Carbon Storage and Sequestration: Climate Regulation, da ferramenta de avaliação e mapeamento de serviços ecossistêmicos InVEST (v. 3.3.3).
8. A turbidez é a medição da resistência da água à passagem de luz, provocada pela presença de partículas flutuando na água, e o valor máximo permitido na água distribuída é 5,0 NTU. Fonte: <http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=40>. O SAMAE-SBS utiliza sulfato de alumínio, aplicado em solução diluída logo no início da recepção da água aduzida na ETA. Para a relação entre a turbidez e os custos de tratamento com a aplicação do sulfato de alumínio, utilizou-se como referência os dados de produção do próprio SAMAE-SBS, gentilmente disponibilizados.
9. Para a conversão de sedimentos (em toneladas, calculados via InVEST) e o volume dragado, em metros cúbicos, assume-se que cada 1,5 tonelada de sedimentos removidos correspondem a um metro cúbico (SOUSA JUNIOR, 2013).
10. O primeiro passo é a caracterização da ocorrência de cada um dos eventos de enxurrada que levaram os municípios a decretarem Situação de Emergência. A cada um desses eventos, por meio da data de seus decretos de Situação de Emergência, foi associado um volume de precipitação mensal com base no histórico de pluviosidade registrado pela estação de Campo Alegre. Com base nos dados dessa mesma estação pluviométrica, foi derivada tanto a precipitação média mensal bem como o período de retorno de cada evento. A partir da estimativa dos períodos de retorno dos eventos, pesquisados em período de 14 anos de declarações de situações de emergência, se torna possível estimar o risco de cada município por eventos de enxurrada, uma vez que o período de retorno é exatamente o indicativo do risco de um evento extremo ocorrer. O segundo passo é associar a este risco um valor que pode ser afetado pelo evento. Afinal, um dano só ocorre quando existe o cruzamento entre uma situação de vulnerabilidade (susceptibilidade natural a enxurradas), a exposição ao risco (valor econômico que pode ser comprometido) e, por fim, o evento meteorológico em si (no caso, as precipitações acima da média que geram enxurradas).
11. O levantamento de estoque de carbono utilizou o modelo Carbon Storage and Sequestration: Climate Regulation, da ferramenta InVEST. O valor estipulado para a tonelada de carbono é de R\$ 48,15 por tonelada, considerando um valor equivalente de US\$ 4 a tonelada de CO<sub>2</sub> e uma taxa de conversão cambial de R\$ 3,28 (valor praticado em nov/2017), valor inferior ao aferido pela

iniciativa Ecosystem Marketplace para o período 2007-2014, quando as transações de carbono no mercado voluntário envolvendo o Brasil praticaram preços médios de US\$ 5,9/ton CO<sub>2</sub>e. Pode-se considerar então que o valor assumido na presente análise (US\$ 4,00/tonCO<sub>2</sub>e) é conservador.

12. Neste contexto, manejo da biodiversidade se refere a ações que promovem o incremento ou manutenção de serviços ecossistêmicos por meio da melhoria das condições ambientais para a biodiversidade local.
13. O custo de transação, compreendido como aquele necessário para se realizar transações em um determinado mercado, não foi considerado. Parte significativa das estruturas necessárias para a realização das liquidações financeiras e para a aferição e monitoramento de resultados já se encontra incorrida pela existência e vigência do projeto “Produtor de Água do Rio Vermelho”, que pode ser expandido sem acréscimos representativos nos custos de transação.
14. Os pagamentos por serviços ambientais se mantêm recorrentes no tempo, sendo considerados desde o 1º até o 20º ano.
15. A cotação do título Tesouro IPCA+ com Juros Semestrais 2050 (NTNB), em 17/10/2017, foi de 5,09% ao ano com vencimento em 15/08/2050. Disponível em: <http://www.tesouro.fazenda.gov.br/en/tesouro-direto-precos-e-taxas-dos-titulos>.
16. Uma vez que se trata de fluxos de custos e benefícios distribuídos ao longo do horizonte de análise de 20 anos, cada qual de sua forma, as razões custo-benefício são calculadas sobre o fluxo de caixa descontado.
17. A relação dos valores no tempo demanda descontar do fluxo futuro o custo de oportunidade de se utilizar os recursos no momento atual – e é este o conceito de taxa de desconto. Quando aplicada a um fluxo monetário futuro, a taxa de desconto permite transformar a sequência de valores em um único valor, atual e comparável a qualquer outra escolha monetária possível no presente. Isso se faz possível pela somatória de todos os valores esperados pelo fluxo (tanto de custos como de benefícios), porém descontados pela taxa que pondera o futuro como menos valioso do que o presente. A esse valor único e descontado, dá-se o nome de Valor Presente Líquido - VPL.
18. **A geração positiva de R\$ 128,30 milhões** é um indicativo de um saudável fluxo de caixa, onde há geração de expressivos valores positivos líquidos.
19. Calculado pela razão entre o FCD e o investimento total, também em VPL. O resultado é uma **taxa de 829%**, que indica que há uma **geração de caixa positiva, superando** os investimentos totais necessários para a geração do fluxo de caixa.
20. **O AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL apresenta uma TIR de 52%**, que supera largamente a taxa básica de juros da economia (atualmente no patamar próximo a 7,0%). Isso significa que o **retorno que se espera obter com o desenrolar dos custos e benefícios supera a rentabilidade mínima exigida pelo mercado.**
21. Apresenta o prazo que se faz necessário para que haja a completa recuperação do capital inicial investido. No caso da hipotética implantação do **AUMENTO DE INFRAESTRUTURA NATURAL**, a **geração de caixa livre se torna equivalente ao valor do investimento no 12º ano.**
22. Este indicador traz o ano em que não há nem prejuízos e nem lucros (na equivalência teórica deste fluxo de caixa de custos e benefícios com um fluxo de despesas e receitas), o que ocorre no 6º ano.
23. Trata-se do valor limite que se espera desembolsar, uma vez que é investimento ainda não plenamente coberto pela própria geração de receitas do projeto. O resultado, de R\$ 1,36 milhão, é pequeno se comparado ao total de investimento necessário, demonstrando que o projeto consegue gerar caixa positivo de forma relativamente rápida.
24. Calculado pela razão entre o FCD e o investimento total, também em VPL. O ROI atinge impressionantes **4.569%**, atestando que a geração de caixa positiva supera amplamente os investimentos necessários.
25. Mainstreaming adaptation to climate change in agriculture and natural resources management projects – Guidance Note 6, disponível em <http://siteresources.worldbank.org/EXTTOOLKIT3/Resources/3646250-1250715327143/GN6.pdf> | <https://www.iucn.org/commissions/commission-ecosystem-management/our-work/nature-based-solutions>.
26. Publicações como HIGGINS & ZIMMERLING (2013) e TAFFARELLO et al (2016), que tratam especificamente deste tema, podem apresentar indicativos mais específicos para o planejamento e a implementação de uma rede de monitoramento hidrológico adequada à verificação do impacto de projetos relacionados a Soluções Baseadas na Natureza.
27. Economias ativas são as unidades atendidas pelo SAMAE-SBS para efeito de cadastramento e cobrança de tarifa.
28. Este valor é obtido pela divisão da receita operacional direta de água, de R\$ 13,24 milhões anuais, pela quantidade de economias.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Relatório: Ação Emergencial para Delimitação de Áreas em Alto e Muito Alto Risco a Enxurradas, Inundações e Movimentos de Massa: São Bento do Sul – Santa Catarina. CPRM, 2014.

European Commission (2015). Final Report of the Horizon 2020 Expert Group on Nature-Based Solutions and Re-Naturing Cities

FUNDAÇÃO GRUPO BOTICÁRIO. Adaptação baseada em ecossistemas - Oportunidades para políticas públicas em mudanças climáticas. Curitiba, 2015.

HIGGINS, J.V., and ZIMMERLING, A. (Eds.) (2013). A Primer for Monitoring Water Funds. Arlington, VA: The Nature Conservancy.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013.

FATMA - Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina. Mapeamento do Uso e Ocupação do Solo e Vegetação - Projeto Mapeamento Temático Geral do Estado de Santa Catarina. Programa de Proteção da Mata Atlântica (PPMA) – Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina (FATMA), 2008.

KOSCHKE, L.; FÜRST, C.; FRANK, S.; MAKESCHIN, F. A multi-criteria approach for an integrated land-cover-based assessment of ecosystem services provision to support landscape planning. *Ecological Indicators*, v. 21, p. 54–66, 2012.

Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington, Island Press, 137p. 2005.

PBMC. Primeiro Relatório de Avaliação Nacional – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC), 2015. Disponível em: <http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/pt/>.

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DE SANTA CATARINA - Volume III – Abordagem Metodológica para a Elaboração do PERH-SC e Categorizações.

RIBEIRO, J.B.; BORGIO, M; MARANHO, L.T. Áreas Protegidas de Curitiba (PR, Brasil) como Sumidouros de CO<sub>2</sub>. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 43, n. 2, p. 181-190, abr./jun. 2013.

SOUSA JUNIOR, W. C. Pagamento por Serviços Ecológicos: Sedimentos e Nutrientes - sistemas de abastecimento da RMSP. Relatório Técnico. São Paulo: TNC, 2013.

SPVS - Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental e FFI - Fauna & Flora International. Projeto Parcerias

pela Biodiversidade. Biodiversidade e Serviços Ecológicos: Um Business Case para a Agricultura Brasileira. Curitiba, 2016. Disponível em: [www.spvs.org.br/parceriasbiodiversidade](http://www.spvs.org.br/parceriasbiodiversidade).

SPVS. Programa de avaliação e quantificação do potencial de absorção de carbono por florestas nativas em Curitiba – Relatório de atividades 2011.

TAFFARELLO, D., GUIMARÃES, J., LOMBARDI, R. K., CALIJURI, M., & MENDIONDO, E. M. (2016). Hydrologic Monitoring Plan of the Brazilian Water Producer/PCJ Project. *Journal of Environmental Protection*, 7(12), 1956.

TNC – The Nature Conservancy. Plano de Negócios: Recuperação Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Jaguari – SP. BRIIX Consultoria, Curitiba, 2014.

UN - UNITED NATIONS. The Fourth Edition of the World Water Development Report: Managing Water Report under Uncertainty and Risk. Geneva, Suíça, 2012.



