preparado por

KRALINGEN
ECONOMIA AMBIENTAL

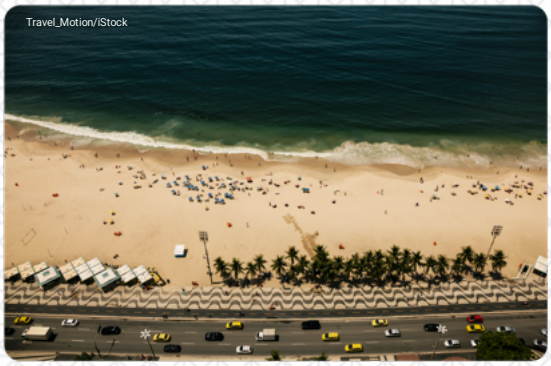
para

Fundação GrupoBoticário
de proteção à natureza

INFRAESTRUTURA DA NATUREZA:
ANÁLISE ECONÔMICA DA PROTEÇÃO COSTEIRA NO BRASIL

P2 - RELATÓRIO TÉCNICO

SETEMBRO DE 2026


Travel_Motion/iStock


Cristian Lourenço/iStock


Daniel Thá/Kralingen


Pedro Truffi/iStock


Cristian Lourenço/iStock

KRALINGEN

Referências Cadastrais

Objeto	Economia da Adaptação Costeira e SBN Costeiras | Editorial "Oceano sem Mistérios - Infraestrutura da Natureza: Análise Econômica da Proteção Costeira no Brasil" | Estudo técnico de valoração econômica, com foco na metodologia de custo de reposição e danos evitados, comparando a aplicação de SBNs para proteção costeira com a implementação de obras de engenharia convencional (infraestrutura cinza)
Contrato	OS nº 4500773297 | 01 de junho de 2026
Produto	Produto 2 | Relatório Técnico "Análise Econômica da Proteção Costeira no Brasil"
Emissão	Versão final | 25 de setembro de 2026 | 01 volume digital
Contratante	Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza
Contatos	Janaina de Araújo Bumbeer e Couto | janaina.couto@fundacaogrupoboticario.org.br Jorge Olavo Woellner Kintzel | jorge.olavo@grupoboticario.com.br Juliana Baladelli Ribeiro | ribeiroj@grupoboticario.com.br Wellington Silva Baldo | baldo@grupoboticario.com.br
Contratada	Kralingen Consultoria Ltda.
Autoria	Aline Sbizera Martinez | asmartinez.br@gmail.com Oceanografia e Biologia | Doutora em Ecologia | UNIFESP / Programa Maré de Ciência Daniel Thá | daniel.tha@kralingen.com.br Economista Ambiental (Corecon-PR 7311) | Doutor em Ciência Ambiental Ronaldo Adriano Christofoletti | christofoletti@unifesp.br Comunicação | Doutor em Zootecnia | UNIFESP / Programa Maré de Ciência

KRALINGEN

SUMÁRIO

Apresentação e contextualização *9*

1. Introdução e definições de partida *11*

1.1. As Soluções baseadas na Natureza **11**

1.2. A lente econômica aplicada às SBN **12**

1.3. Aplicação ao estudo: eixos e estudos de caso **16**

1.3.1. Eixo 1 - O valor que a natureza já entregou 18

1.3.2. Eixo 2 - O valor que a natureza pode entregar 19

1.4. Estrutura metodológica da avaliação **21**

1.4.1. Definições e convenções de base 21

1.4.2. Estimativa de benefícios e métodos de valoração 23

1.4.3. Custos diretos e conversão a preços sociais 25

1.4.4. Externalidades e cobenefícios 26

1.4.5. Indicadores de viabilidade e incertezas 29

EIXO 1 O VALOR QUE A NATUREZA JÁ ENTREGOU *31*

2. Manguezal em Salinópolis (PA) *31*

2.1. Histórico socioambiental **32**

2.2. Valoração da perda de serviços ecossistêmicos **36**

2.2.1. Abordagem e base de estimação 36

2.2.2. Estimativa das perdas 39

2.2.3. Cobenefícios socioambientais 49

2.2.4. Sensibilidade dos resultados 53

2.3. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência **55**

3. Praias e dunas em Natal (RN) *57*

3.1. Histórico socioambiental **58**

3.2. Valoração da perda de serviços ecossistêmicos **64**

3.2.1. Abordagem e base de estimação 64

3.2.2. Estimativa das perdas 64

3.2.3. Cobenefícios socioambientais 73

3.2.4. Sensibilidade dos resultados 74

3.3. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência **75**

4. Recifes costeiros em Paulista (PE) *77*

4.1. Histórico socioambiental **78**

4.2. Valoração dos serviços ecossistêmicos **84**

4.2.1. Abordagem e base de estimação 84

4.2.2. Custo de reposição das obras de proteção na Praia de Janga 85

4.2.3. Danos e prejuízos remanescentes 87

4.2.4. Cobenefícios socioambientais 89

4.2.5. Consolidação dos serviços ecossistêmicos recifais 90
4.2.6. Sensibilidade dos resultados 91

4.3. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência 93

EIXO 2 O VALOR QUE A NATUREZA PODE ENTREGAR 95

5. Restauração ecológica em área urbanizada no Rio de Janeiro (RJ) 95

5.1. Histórico socioambiental 96

5.2. Intervenção com SBN 97
5.2.1. Concepção e dimensionamento 99
5.2.2. Custos de implantação (Capex) 101
5.2.3. Custos de operação e manutenção (Opex) 104
5.2.4. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa 105

5.3. Intervenção com infraestrutura cinza 108
5.3.1. Concepção e dimensionamento 108
5.3.2. Custos de implantação (Capex) 110
5.3.3. Custos de operação e manutenção (Opex) 112
5.3.4. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa 113

5.4. Análise comparativa 115
5.4.1. Comparação dos custos de intervenção 115
5.4.2. Externalidades e cobenefícios 117
5.4.3. Sensibilidade dos resultados 122

5.5. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência 126

6. Remoção de infraestrutura pública e recriação de habitat natural em Santos (SP) 128

6.1. Histórico socioambiental 129

6.2. Cenário base: manutenção da infraestrutura cinza existente 133
6.2.1. Custos pretéritos de operação e manutenção (Opex) 134
6.2.2. Forçantes exógenas do processo erosivo na Ponta da Praia 137
6.2.3. Custos projetados de operação e manutenção (Opex) 139
6.2.4. Externalidade negativa associada ao risco de galgamento 140
6.2.5. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa 145

6.3. Alternativa de SBN: recriação de habitat costeiro 145
6.3.1. Remoção da infraestrutura pública existente 146
6.3.2. Recriação do habitat costeiro 150
6.3.3. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa 154

6.4. Análise comparativa 155
6.4.1. Comparação dos custos de intervenção 155
6.4.2. Externalidades e cobenefícios 156
6.4.3. Sensibilidade dos resultados 158

6.5. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência 161

7. Retração urbana planejada e restauração ecológica em Florianópolis (SC) 163

7.1. Histórico socioambiental 164

7.2. Intervenção com infraestrutura híbrida 168

7.2.1. Concepção da intervenção 168
7.2.2. Custos de implantação (Capex) 169
7.2.3. Custos de operação e manutenção (Opex) 170
7.2.4. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa 172

7.3. Intervenção com SBN 172

7.3.1. Aquisição e demolição do patrimônio edificado 173
7.3.2. Recriação do habitat costeiro 178
7.3.3. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa 182

7.4. Análise comparativa 184

7.4.1. Comparação dos custos de intervenção 184
7.4.2. Externalidades e cobenefícios 186
7.4.3. Sensibilidade dos resultados 189

7.5. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência 192

8. Considerações finais 194

Referências bibliográficas 200

KRALINGEN

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferença entre avaliações de viabilidade socioeconômica e financeira 13
Tabela 2 - Descrição de eventos naturais hidrológicos 35
Tabela 3 - Classificação de risco de inundações adotada por CPRM (2016) 36
Tabela 4 - Danos materiais em eventos de inundação em Salinópolis 44
Tabela 5 - Perdas esperadas em eventos de inundação na baixada de Salinópolis 48
Tabela 6 - Externalidades geradas pela supressão do manguezal em Salinópolis 52
Tabela 7 - Testes de sensibilidade das perdas por inundação em Salinópolis 53
Tabela 8 - Testes de sensibilidade das externalidades em Salinópolis 54
Tabela 9 - Estimativas de fluxos turísticos na Praia de Ponta Negra 68
Tabela 10 - Estimativas de perdas dos serviços ecossistêmicos na Praia de Ponta Negra 72
Tabela 11 - Testes de sensibilidade das perdas na Praia de Ponta Negra 74
Tabela 12 - Instrumentos federais identificados para obras de proteção costeira em Paulista 85
Tabela 13 - Dispêndios públicos com obras de proteção costeira atribuídos à Praia de Janga 87
Tabela 14 - Danos e prejuízos por erosão costeira atribuídos à Praia de Janga 88
Tabela 15 - Cobenefícios socioambientais dos recifes (transferência de benefícios) 90
Tabela 16 - Consolidação do valor dos serviços ecossistêmicos recifais na Praia de Janga (R$, 2025) 91
Tabela 17 - Testes de sensibilidade do valor dos serviços ecossistêmicos recifais (R$ milhões) 92
Tabela 18 - Geometria e quantitativos da alternativa de SBN em Copacabana 101
Tabela 19 - Orçamento de implantação da alternativa de SBN em Copacabana 102
Tabela 20 - Referências internacionais de custo de restauração de cordões arenosos vegetados 104
Tabela 21 - Conversão a preços sociais da alternativa de SBN em Copacabana 106
Tabela 22 - Custo socioeconômico total da alternativa de SBN em Copacabana 107
Tabela 23 - Geometria e quantitativos da alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana 110
Tabela 24 - Orçamento de implantação da alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana 111
Tabela 25 - Conversão a preços sociais da alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana 114
Tabela 26 - Custo socioeconômico total da alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana 115
Tabela 27 - Comparação dos custos socioeconômicos das alternativas de intervenção em Copacabana 116
Tabela 28 - Classes cênicas do Coastal Scenic Evaluation System 119
Tabela 29 - Testes de sensibilidade dos custos diretos das alternativas em Copacabana (R$ milhões, VP) 123
Tabela 30 - Testes de sensibilidade da externalidade de desamenidade em Copacabana. 125
Tabela 31 - Cenários combinados e valores de reversão em Copacabana (R$ milhões, VP) 125
Tabela 32 - Contratos públicos de manutenção, reparação e contenção para a Ponta da Praia 134
Tabela 33 - Parâmetros unitários adotados na reconstrução paramétrica 136

Tabela 34 - Variação total projetada do nível do mar na estação maregráfica de Cananéia (SP)....138
Tabela 35 - Projeção do Opex do cenário base para a Ponta da Praia (preços de mercado)139
Tabela 36 - Índice de intensificação do risco de galgamento e desconto imobiliário projetado em Santos....143
Tabela 37 - Valor presente do prejuízo privado associado ao risco de ressaca em Santos no cenário base....144
Tabela 38 - Custo socioeconômico total do cenário base (infraestrutura cinza) em Santos....145
Tabela 39 - Quantitativos de remoção de infraestrutura pública na Ponta da Praia....148
Tabela 40 - Orçamento de remoção da infraestrutura pública na Ponta da Praia....149
Tabela 41 - Geometria e quantitativos da recriação do habitat costeiro na Ponta da Praia 151
Tabela 42 - Orçamento de recriação do habitat costeiro na Ponta da Praia....152
Tabela 43 - Conversão a preços sociais da alternativa de SBN na Ponta da Praia....154
Tabela 44 - Custo socioeconômico total da alternativa de SBN na Ponta da Praia....155
Tabela 45 - Comparação dos custos socioeconômicos das alternativas de intervenção na Ponta da Praia....156
Tabela 46 - Testes de sensibilidade dos custos socioeconômicos na Ponta da Praia (R$ milhões, VP)....159
Tabela 47 - Variação total projetada do nível do mar na estação maregráfica de Imbituba (SC)....170
Tabela 48 - Índice de intensificação do risco de galgamento em Florianópolis....171
Tabela 49 - Custo socioeconômico total da alternativa de intervenção híbrida na Praia da Armação....172
Tabela 50 - Quantitativos de remoção de infraestrutura na Praia da Armação....176
Tabela 51 - Orçamento dos módulos de retração urbana da Praia da Armação....177
Tabela 52 - Geometria e quantitativos da recriação do habitat costeiro na Praia da Armação....179
Tabela 53 - Orçamento de recriação do habitat costeiro na Praia da Armação do Pântano do Sul....180
Tabela 54 - Custos totais de implantação de SBN na Praia da Armação (preços de mercado)....182
Tabela 55 - Conversão a preços sociais da alternativa de SBN na Praia da Armação....183
Tabela 56 - Custo socioeconômico total da alternativa de SBN na Praia da Armação....184
Tabela 57 - Comparação dos custos socioeconômicos das intervenções na Praia da Armação....185
Tabela 58 - Testes de sensibilidade dos custos socioeconômicos na Praia da Armação (R$ milhões, VP)....190
Tabela 59 - Síntese dos estudos de caso....195

KRALINGEN

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área do estudo de caso de Salinópolis, destacando os polígonos classificadas como de alto risco de inundação (em amarelo) e os manguezais adjacentes à área urbana 31
Figura 2 - Cobertura e uso da terra em Salinópolis ao longo de quatro décadas 38
Figura 3 - Função do dano para diferentes tipologias na América do Sul (Huizinga et al. 2017) 40
Figura 4 - Edificações sob área de alto risco de inundação em Salinópolis 42
Figura 5 - Área do estudo de caso na cidade de Natal (RN), destacando o trecho erosivo da orla de Ponta Negra (em amarelo) e os remanescentes de dunas vegetadas adjacentes.....57
Figura 6 - Área do estudo de caso na cidade de Paulista (PE), destacando a Praia de Janga (em amarelo), com estruturas artificiais de proteção costeira, e os recifes naturais paralelos à linha de costa presentes mais ao norte, defronte à Praia de Pau Amarelo.....77
Figura 7 - Área do estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro (RJ), destacando a Praia de Copacabana e o trecho na região sul com histórico de erosão costeira (em amarelo)..... 96
Figura 8 - Área detalhada da recuperação ambiental, Praia de Copacabana, Rio de Janeiro 98
Figura 9 - Área do estudo de caso na cidade de Santos (SP), destacando a região da Ponta da Praia, trecho que vem sofrendo intensificação dos processos de erosão costeira e inundações durante eventos de ressaca (em amarelo).....128
Figura 10 - Imagens aéreas da região entre o Canal 6 e a Ponta da Praia, em Santos, mostrando a evolução da faixa de areia ao longo dos anos (fonte: Rodrigues et al., 2021). 130
Figura 11 - Área detalhada da retração urbana, Ponta da Praia, Santos 147
Figura 12 - Área do estudo de caso na cidade de Florianópolis (SC), destacando a região da Praia da Armação do Pântano do Sul, trecho que vem sofrendo intensificação dos processos de erosão costeira (em amarelo) 163
Figura 13 - Área da retração urbana, Armação do Pântano do Sul, Florianópolis 174

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Nota sobre as barreiras submersas de geotubos 132

Apresentação e contextualização

A zona costeira brasileira, de mais de 8,5 mil km de extensão, abriga 25% da população do país e concentra parcela expressiva dos ativos socioeconômicos nacionais, de habitações e infraestrutura portuária, a patrimônios culturais, atividades de turismo e pesca. Ao mesmo tempo, esse espaço se encontra sob pressão crescente de processos de erosão costeira, inundações associadas a marés astronômicas e meteorológicas, elevação do nível médio do mar e eventos extremos, em grande parte agravados pela urbanização acelerada e pela ocupação desordenada de áreas naturalmente dinâmicas e vulneráveis. Cerca de 60% das praias do país sofrem processos erosivos, sendo que 15% das dunas, praias e areais foram perdidas entre 1985 e 2020 (MapBiomas).

A resposta predominante a esses desafios vem sendo dada por meio de intervenções de infraestrutura convencional (cinza), tal como muros de contenção, enrocamentos, espigões, engordas de praia e outras obras que, embora possam reduzir danos pontuais, tendem a ser dispendiosas e demandar manutenção recorrente. Além de custosas, essas intervenções podem ser prejudiciais à biodiversidade ao intensificarem o processo de *coastal squeeze*, pelo qual habitats costeiros perdem área ou qualidade porque ficam "espremidos" entre a elevação do nível do mar e uma borda fixa por infraestrutura ou ocupação humana. Tampouco geram cobenefícios como sequestro de carbono, filtragem de poluentes e produção de pescado.

Nesse contexto, ganham relevância as Soluções baseadas na Natureza (SBN) Costeiras, que compreendem estratégias de conservação, manejo, restauração e, quando pertinente, arranjos híbridos entre ecossistemas costeiro-marinhos e obras de engenharia, com vistas a aumentar a resiliência climática e reduzir riscos de desastres (UNEP, 2022; World Bank, 2026). Ecossistemas como manguezais, marismas, dunas vegetadas, restingas e recifes biogênicos de corais e ostras atuam como barreiras naturais que dissipam a energia das ondas, estabilizam sedimentos, reduzem a ocorrência e a intensidade de inundações e erosão, ao mesmo tempo em que geram cobenefícios como sequestro de carbono azul, manutenção de berçários pesqueiros, melhoria da qualidade da água, suporte ao turismo e valorização paisagística.

Embora as SBN costeiras apresentem um grande potencial para adaptação costeira, sua adoção permanece aquém do desejável, em parte pela falta de tradução sistemática de seus benefícios físicos e socioeconômicos em métricas econômicas comparáveis às alternativas de infraestrutura cinza.

A Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza (FGB) tem a adaptação às mudanças climáticas como eixo estruturante de sua visão 2030, na qual a natureza restaurada e conservada é reconhecida como base para promover a vida. No âmbito do pilar de Resiliência Costeiro-Marinha, a FGB busca valorizar o oceano e seus ecossistemas, conectando ciência, políticas públicas e sociedade por meio de iniciativas que traduzem conhecimento técnico em linguagem acessível, como a coleção editorial "Oceano sem Mistérios".

A presente contratação se insere nesse esforço estratégico, ao aliar a análise econômica aplicada à adaptação costeira com a dimensão de comunicação, visando qualificar o debate público e apoiar decisões de investimento em infraestrutura resiliente em cidades costeiras brasileiras. O objetivo do estudo é trazer um olhar econômico para as SBN Costeiras em contraste com as infraestruturas cinzas, aplicando a lógica da Análise Socioeconômica de Custo-Benefício (ACB) de projetos de infraestrutura à proteção costeira em cidades da costa brasileira.

O estudo teve a entrega dos seguintes documentos, que culminam na publicação do editorial "Oceano sem Mistérios - Infraestrutura da Natureza: Análise Econômica da Proteção Costeira no Brasil":

- P1 - Plano de Trabalho;
- P2 - Relatório Técnico;
- P3 - Sumário Executivo;
- P4 - Conteúdo Editorial; e
- P5 - Publicação Final do editorial.

Este documento perfaz o Produto 2 - Relatório Técnico.

1. Introdução e definições de partida

1.1. As Soluções baseadas na Natureza

As Soluções baseadas na Natureza (SBN) são ações de proteção, conservação, manejo e restauração de ecossistemas terrestres, costeiros e marinhos, voltadas ao enfrentamento de desafios socioambientais. Essas ações geram, simultaneamente, benefícios diretos para a biodiversidade e a sociedade. Para ser considerada uma SBN, o ecossistema conservado, recuperado ou recriado deve desempenhar papel central na solução do desafio, sendo o principal responsável por fornecer os benefícios esperados. Quando a natureza não exerce esse papel de forma predominante e são necessárias infraestruturas cinzas combinadas com a natureza para desempenhar funções essenciais, a intervenção é caracterizada como uma solução de engenharia híbrida.

No ambiente costeiro, essas abordagens ganham relevância diante de desafios como a intensificação dos processos erosivos, a intrusão salina, os vendavais, as ressacas e as inundações costeiras. O aumento da frequência e da severidade dos eventos climáticos extremos amplia os riscos para cidades costeiras e ocupações urbanas localizadas em áreas naturalmente dinâmicas. Nesse contexto, ações emergenciais de proteção costeira têm sido adotadas com maior frequência, muitas vezes recorrendo a soluções tradicionais de engenharia, como espigões, muros de contenção e enrocamentos, frequentemente associados à alimentação artificial de praias.

Embora essas intervenções possam proporcionar proteção imediata, em determinados contextos elas podem intensificar processos erosivos ou gerar impactos em áreas adjacentes, transferindo ou ampliando riscos ao longo da faixa litorânea (Benedet et al. 2008; Saengsupavanich et al. 2024; Joe et al. 2025). Além disso, obras de proteção costeira de maior escala podem demandar investimentos da ordem de milhões de reais e requerer manutenção periódica, além de reparos ou reconstruções após danos provocados por ressacas, tempestades e outros eventos extremos. Com o aumento da frequência e da intensidade desses eventos, a necessidade recorrente de manutenção e recuperação pode elevar significativamente os custos ao longo do tempo, tornando a dependência de intervenções emergenciais uma estratégia economicamente pouco sustentável em determinados contextos. Por serem estruturas rígidas e fixas, essas soluções também apresentam capacidade limitada de adaptação às mudanças ambientais em médio e longo prazo. Em um cenário de elevação do nível do mar, sua eficácia pode ser comprometida, especialmente quando o projeto não considera a evolução futura das condições costeiras. Diferentemente das SBN, essas estruturas também oferecem poucos ou nenhum cobenefício ambiental e social.

No contexto brasileiro, as principais famílias de SBN aplicáveis à região costeira incluem a conservação e restauração de ecossistemas vegetados de áreas alagadas, como manguezais e marismas; praias e dunas vegetadas; recifes biogênicos; e vegetação marinha submersa, como as gramíneas marinhas. Esses ecossistemas desempenham diferentes funções na redução de riscos costeiros e oferecem uma ampla gama de benefícios à sociedade.

Manguezais e marismas contribuem para a redução de inundações e da intrusão salina, além de atenuarem a energia das ondas (Barbier, 2016; Narayan et al., 2016). Praias associadas a cordões arenosos vegetados funcionam como barreiras naturais contra ressacas e podem contribuir para a redução da erosão ao armazenar sedimentos e favorecer sua redistribuição no sistema praial (Silva et al., 2016; Suanez et al., 2012). Da mesma forma, recifes biogênicos, como os formados por corais e ostras, podem reduzir a energia das ondas antes que ela alcance a linha de costa (Narayan et al., 2016; Fergel et al., 2026). A vegetação marinha submersa também contribui para a atenuação da energia hidrodinâmica e, juntamente com manguezais, marismas e vegetação de restinga, desempenha papel relevante na captura e no armazenamento de carbono. Manguezais e restingas também podem contribuir para a redução da velocidade dos ventos próximos à superfície, dependendo da estrutura e da altura da vegetação. Os ecossistemas vegetados também apresentam alta capacidade adaptativa, podendo acompanhar a elevação do nível do mar por meio de sua migração para áreas mais elevadas, desde que exista espaço disponível para sua expansão e condições geomorfológicas e sedimentares favoráveis.

Além da proteção costeira, esses ecossistemas fornecem outros importantes serviços ecossistêmicos. Manguezais e recifes de ostras, por exemplo, podem contribuir para a melhoria da qualidade da água ao reter partículas e contaminantes. Ecossistemas como manguezais e recifes de coral também sustentam cadeias alimentares e atividades pesqueiras, contribuindo para a segurança alimentar e para os meios de subsistência de comunidades costeiras. Recifes e praias, por sua vez, possuem grande importância para o lazer e o turismo, atividades que movimentam a economia de diversas regiões do litoral brasileiro (Carvalho, 2022).

Assim, a adoção de SBN costeiras para enfrentar os desafios climáticos pode gerar benefícios que vão além da redução de riscos, contribuindo simultaneamente para a segurança alimentar, a saúde e o bem-estar da população, a manutenção de atividades econômicas e a adaptação das zonas costeiras às mudanças climáticas. Ao priorizar a conservação e a recuperação de ecossistemas naturais, essas soluções também contribuem para a conservação da biodiversidade e para o enfrentamento da perda global de biodiversidade, cujos principais vetores incluem a expansão urbana e a degradação dos ecossistemas costeiros.

1.2. A lente econômica aplicada às SBN

Da avaliação financeira à socioeconômica

Muito embora avaliações econômicas e financeiras comparem custos e benefícios em termos de valor presente, o fazem sobre premissas muito distintas, como se apresenta na Tabela 1. Os resultados da avaliação financeira e socioeconômica de um determinado projeto podem ser distintos.

O presente estudo aplica a lente econômica às SBN voltadas à proteção costeira, superando a análise financeira de modo a abarcar as repercussões para toda a sociedade, incluindo externalidades positivas e negativas. Essa distinção é fundamental, pois enquanto uma avaliação financeira compara receitas e despesas sob a ótica do promotor

do projeto (uma prefeitura municipal, por exemplo), a avaliação socioeconômica considera os benefícios (incluindo intangíveis), os custos a preços sociais e as externalidades que recaem sobre o conjunto dos agentes econômicos (indivíduos, empresas e governo, incluindo o promotor do projeto). O resultado dessa análise não é a mensuração da rentabilidade da intervenção, mas sim de seu balanço entre custos e benefícios - o benefício líquido gerado para o bem-estar da sociedade brasileira.

Tabela 1 - Diferença entre avaliações de viabilidade socioeconômica e financeira

Ótica de Avaliação	Comparação	Consequência
Avaliação de viabilidade financeira	Comparam-se receitas e despesas sob a ótica do promotor do projeto (mesmo que público), limitando a análise a valores (preços) de mercado	Essa avaliação é importante para mensurar os investimentos necessários e apontar o interesse privado em realizar o projeto ou atividade, embasando o desenho da forma de contratação e estabelecendo o nível de intervenção pública (em forma de aportes ou de cobrança de outorgas)
Avaliação de viabilidade socioeconômica	Comparam-se benefícios, custos e externalidades Os custos são considerados a preços sociais, os benefícios incluem intangíveis, as externalidades são positivas ou negativas	Muito embora ninguém compre ou venda melhores condições de saúde, ou ainda erosão costeira evitada, estes são precisamente os elementos que devem ser maximizados na tomada de decisão de investimentos de interesse público - a sociedade brasileira não precisa de espigões, mas sim de estabilidade de praia

A situação que se antecipa comum para as SBN é uma em que há plena atestação de viabilidade socioeconômica (geram-se benefícios líquidos à sociedade), mas não há contrapartida em sua viabilidade financeira (lucros privados). Identifica-se, então, um caso típico de projetos sociais, que devem ser financiados pelo setor público.

Para aplicar a lente econômica, utilizou-se como estrutura analítica as diretrizes metodológicas do Guia Geral de Análise de Custo-Benefício (ACB) editado pelo Governo Federal (Brasil, 2022a). A adoção do Guia ACB confere aos resultados quatro atributos relevantes: pertinência (é o referencial oficial), consistência (é verificável), credibilidade (embasa decisões em evidências) e auditabilidade (é recomendado por órgãos de controle, como o TCU, e por diversos organismos multilaterais). Além disso, os resultados se tornam metodologicamente consistentes e, observadas as diferenças de escopo e contexto, comparáveis a outras avaliações, haja vista que a metodologia segue boas práticas amplamente endossadas, como as da Comissão Europeia, do Banco Mundial e do Banco Interamericano de Desenvolvimento.

O método auxilia na tomada de decisão ao se basear na comparação incremental entre um cenário de projeto e um cenário base (contrafactual), que espelha as ocorrências mais prováveis na ausência da intervenção, mensurando a variação de bem-estar gerada ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos avaliados. Sua elaboração envolve três grandes etapas:

- Definição dos cenários e do horizonte de análise: estabelece as unidades autossuficientes de análise, as premissas comuns a todos os cenários (horizonte temporal, cronograma de implantação, reinvestimentos) e as alternativas avaliadas.

Para as infraestruturas costeiras, o horizonte é compatível com a vida útil das obras de engenharia cinza, mirando-se em 30 anos.

- Identificação e quantificação dos fluxos monetários: inclui custos diretos (CAPEX e OPEX), benefícios, mesmo intangíveis, e preferencialmente estimados pela disposição a pagar dos usuários, e externalidades positivas e negativas. Os custos de mercado são convertidos a preços sociais por meio dos fatores de conversão do Catálogo de Parâmetros (Brasil e IPEA, 2022), que eliminam distorções tributárias e de mercado.
- Cálculo dos indicadores de viabilidade e análise de risco: com base no fluxo monetário incremental descontado pela Taxa Social de Desconto (TSD) de 8,5% a.a. (Brasil e IPEA, 2022), são calculados o Valor Social Presente Líquido (VSPL), o Índice Benefício-Custo (B/C) e a Taxa de Retorno Econômica (TRE). Análises de sensibilidade e de risco climático são realizadas com base no Anexo de Riscos Climáticos ao Guia ACB (Brasil e GIZ, 2022).

A ACB pode ser aplicada para a avaliação de quaisquer investimentos que pretendam viabilizar serviços de utilidade pública, independentemente da forma de implementação, sejam intervenções financiadas com recursos de orçamentos públicos, de fundos constitucionais, com parcerias público-privadas, orçamento de investimento de empresas estatais e outros. A ótica econômica, afinal, precede a ótica financeira do executor, pois abrange os efeitos para a sociedade como um todo.

Metodologicamente, a credibilidade da ACB depende da qualidade da valoração das modificações promovidas pelas intervenções estudadas. Deve-se garantir que não haja: (i) dupla contagem de custos, benefícios ou externalidades; (ii) omissão de custos que recaiam fora da área imediata de influência do projeto; e (iii) contabilização de custos ou benefícios que sejam meras transferências entre agentes econômicos. Uma vez que a ACB computa benefícios intangíveis e externalidades, já deve incluir os principais impactos relevantes sobre o bem-estar e, por consequência, a eventual inclusão de benefícios indiretos resultaria em dupla contagem[1].

O papel da análise econômica no fomento às SBN

A dificuldade de traduzir os benefícios das Soluções baseadas na Natureza em valores monetários comparáveis aos da infraestrutura cinza é amplamente reconhecida como um dos principais obstáculos à sua adoção em escala. Conforme aponta o relatório *Values Assessment* da Plataforma IPBES (2022), decisões baseadas exclusivamente em valores de mercado subvalorizam, por vezes em diversas ordens de grandeza, o valor social da natureza, levando a escolhas que ignoram as múltiplas contribuições dos ecossistemas à sociedade, como a regulação climática e a identidade cultural (IPBES, 2022). Essa lacuna de valor percebido contribui para a subutilização das SBN, pois a tomada de decisão tende a ser pautada por valores pecuniários imediatos, tomados sob

[1] A lógica econômica que dá origem à necessidade de se contabilizar apenas os efeitos diretos, excluindo-se os indiretos por causarem dupla contagem, é a de eficiência nos mercados: em mercados secundários aproximadamente eficientes, os efeitos indiretos se tornam irrelevantes em termos de equilíbrio geral, uma vez que já são capturados pelos preços sombra e pelas externalidades. A exceção à essa regra se dá caso os mercados secundários sejam ineficientes e o projeto for grande o bastante para afetar os preços em tais mercados (Brasil, 2022a).

a ótica de implementadores de projetos (olhar financeiro em detrimento ao econômico).

A ACB socioeconômica responde a esse desafio por ser a metodologia reconhecida como mais adequada para a avaliação de SBN precisamente por conseguir mensurar, em termos monetários e ao longo de toda a vida útil das intervenções, benefícios intangíveis e externalidades que não são transacionados em mercados (Wishart et al., 2021; Davis e Naumann, 2017; Droste et al., 2017; Gehrels et al., 2016). Raymond et al. (2017) reconhecem que o método pode não capturar automaticamente toda a amplitude de cobenefícios das SBN; porém, quando conduzida com a abrangência metodológica aqui adotada, que faz uso de técnicas de valoração de serviços ecossistêmicos de regulação, provisão, suporte e culturais, conforme a tipologia da Lei Federal nº 14.119/2021, essa limitação é mitigada.

Evidências empíricas reforçam a pertinência do olhar econômico sobre as SBN. Kloss e Calarusse (2006), corroborados por Garrison e Hobbs (2011), demonstram que as SBN podem ser até 30% mais baratas para construir e 25% menos custosas para manter e operar do que infraestruturas tradicionais comparáveis. O Banco Mundial (2021) recomenda que os planejadores urbanos as adotem sempre que possível, relegando as infraestruturas cinzas apenas para os casos em que sejam estritamente necessárias. Estas recomendações, no entanto, só se tornam operacionalizáveis quando sustentadas por análises econômicas que traduzam os benefícios das SBN em métricas comparáveis às das alternativas convencionais. É exatamente essa lacuna que o presente estudo busca suprir para o contexto das cidades costeiras brasileiras: construir a evidência quantitativa que ancora a escolha informada entre natureza e concreto.

De forma complementar aos indicadores da ACB, os resultados foram organizados sob o framework do Triplo Dividendo da Resiliência (World Bank/WRI), que estrutura os benefícios socioeconômicos em três camadas: (1°) perdas evitadas: danos patrimoniais e econômicos evitados pela presença do ecossistema, núcleo da ACB; (2°) benefícios econômicos induzidos: valorização imobiliária, receitas de turismo e pesca, produtividade mantida; e (3°) cobenefícios socioambientais: carbono azul, fomento à biodiversidade, identidade cultural e outros valorados como externalidades. Essa estrutura perfaz uma camada adicional de comunicação que amplia a audiência dos resultados para além do público técnico e dialoga diretamente com a linguagem da agenda Clima-Biodiversidade-Oceano.

Perspectivas temporais: análises ex-ante e ex-post

A aplicação da lente econômica pode se dar sob duas perspectivas temporais distintas, que determinam tanto a natureza dos dados empregados quanto a interpretação dos resultados. A avaliação ex-ante é conduzida antes da decisão de investimento, com o propósito de estimar o mérito e a aceitabilidade de uma intervenção proposta, orientando a escolha entre alternativas e a alocação de recursos; a avaliação ex-post, por sua vez, é realizada após a materialização dos efeitos, verificando o impacto efetivamente ocorrido em comparação aos objetivos originalmente pretendidos (EC, 2014). A distinção, além de cronológica, estabelece a natureza da análise, pois a ex-ante opera com projeções, parâmetros de referência e cenários hipotéticos, enquanto a ex-post parte de

registros observados, aproximando a estimativa da experiência efetivamente vivida pela sociedade.

Em ambas as perspectivas, a mecânica da ACB permanece a mesma, ou seja, envolve a comparação incremental entre um cenário de referência e um cenário contrafactual, articulando assim o conceito fundamental de custo de oportunidade[2]. Na avaliação ex-post, o contrafactual permanece sendo aquilo que teria ocorrido na ausência da intervenção, mesmo que reconstruído retrospectivamente a partir de evidências acumuladas (EC, 2019). O que se altera é a origem da informação e, por consequência, a natureza da incerteza: na ex-ante, a incerteza reside na projeção de variáveis futuras e nas premissas que perduram por todo o horizonte de análise; na ex-post, ela se desloca para a atribuição causal, ou seja, para a parcela dos efeitos observados que pode ser legitimamente imputada à presença ou à ausência do ativo avaliado.

O presente estudo mobiliza as duas perspectivas, conforme o eixo analítico apresentado no item abaixo. Embora não constituam aplicações *stricto sensu* (estrutura formal) da ACB, os casos revelam e quantificam o valor dos ecossistemas costeiros, sejam os que a natureza já entregou (Eixo 1) ou os que pode entregar (Eixo 2).

1.3. Aplicação ao estudo: eixos e estudos de caso

O presente estudo objetiva apresentar uma análise econômica das SBN voltadas à proteção costeira em contraste com a infraestrutura cinza convencional, como estratégias de proteção costeira e resiliência climática em cidades da costa brasileira. É estruturada em dois eixos complementares:

- Eixo 1 - O valor que a natureza já entregou: revela o valor prestado pelas SBN, que evitam a necessidade de se ter obras de engenharia convencional, demonstrando o quanto se ganha ao conservar estas áreas ou, em contrapartida, o custo já incorrido por sua degradação. Aqui, a aplicação da lente econômica é pretérita. Três estudos de caso integram o Eixo 1, em localidades onde ecossistemas naturais foram reduzidos ou removidos (praias e manguezal) ou não possuem barreiras naturais (ex. recifes), deixando de desempenhar seu papel de proteção: Salinópolis (PA), Natal (RN) e Paulista (PE).
- Eixo 2 - O valor que a natureza pode entregar: compara cenários hipotéticos de restauração costeira, contrastando a implantação de infraestrutura cinza versus a SBN. Nesse eixo, o olhar é prospectivo e tem foco na proteção costeira. Os três estudos de caso que compõem o Eixo 2 estão em localidades urbanas consolidadas onde os processos de erosão costeira requerem intervenção ativa, seja pela restauração de áreas naturais ou pela alternativa de obras cinzas: Rio de Janeiro (RJ), Santos (SP) e Florianópolis (SC). A diversidade geográfica e tipológica dos casos permite produzir estimativas locais robustas que podem subsidiar decisões em outros locais.

[2] Definido como o benefício da melhor alternativa preterida, quando se precisa fazer uma escolha entre alternativas mutuamente excludentes. Abordagem da ACB é microeconômica, diferindo de outras avaliações de impacto econômico, como modelos de insumo-produto, por exemplo, que se propõem a avaliar os efeitos multiplicadores de um investimento nos outros setores da economia.

Para operacionalizar os objetivos descritos, o estudo adotou a estratégia metodológica de estudos de caso aplicados, eficaz para traduzir serviços ecossistêmicos em valores monetários comparáveis e de fácil comunicação. A escolha por casos concretos, em detrimento às estimativas médias ou agregadas, responde a uma limitação central do campo da economia dos recursos naturais: o valor econômico de um ecossistema costeiro é profundamente dependente do contexto local, da exposição aos riscos, da densidade de ativos protegidos e da disponibilidade de alternativas de engenharia. Nota-se, ainda, que a dotação de valor econômico para um ecossistema é realizada sob o aspecto antrópico, revelando uma única faceta da natureza que beneficia a sociedade de forma direta ou indireta.

Critérios de seleção e delimitação espacial

Ao ancorar a análise em territórios reais, com dados verificáveis de erosão, inundação, uso do solo e infraestrutura, é possível construir os cenários contrafactuais com a consistência técnica exigida pela análise de custo-benefício e, ao mesmo tempo, gerar resultados com concretude suficiente para comunicação pública e suporte à decisão. Os casos foram escolhidos para representar, de forma abrangente, a diversidade de ecossistemas costeiros e dinâmicas de risco do litoral brasileiro como manguezais, praias com dunas e cordões litorâneos vegetados e recifes costeiros, distribuídos entre as regiões Norte, Nordeste, Sudeste e Sul do país. Os casos funcionam, assim, em dupla escala: como unidades de análise em si, e como laboratórios para calibrar parâmetros e ordens de grandeza que podem informar outras localidades, desde que ajustados às condições locais.

De início, foi realizada uma varredura de áreas classificadas como erosivas no documento Panorama da Erosão Costeira no Brasil (Brasil, 2018), visando identificar potenciais estudos de caso para a valoração dos serviços ecossistêmicos de proteção costeira prestados por praias, dunas e recifes. Para os manguezais, foi conduzido um levantamento de documentos técnico-científicos e oficiais que identificam áreas de ocupação antrópica para valorar os serviços ecossistêmicos de proteção contra alagamentos e inundações costeiras. A partir da identificação de áreas candidatas, foi realizada uma análise visual de imagens de satélite disponíveis no Google Earth para verificar a existência de locais que atendessem aos critérios estabelecidos para cada eixo de avaliação.

Foram priorizadas localidades costeiras urbanizadas com ocorrência documentada de erosão costeira ou de riscos de alagamentos e inundações costeiras. Para os casos do Eixo 1, foram selecionadas áreas de ocupação urbana que anteriormente eram ocupadas por ecossistemas costeiros naturais, especificamente praias e dunas ou manguezais. Também foram considerados locais com presença de recifes em frente à orla urbana e locais onde esses ecossistemas estão ausentes, permitindo a comparação de diferentes condições de proteção costeira. Já para os casos do Eixo 2, foram selecionadas orlas urbanizadas passíveis da implantação de estruturas convencionais de proteção costeira, como muros de contenção e enrocamentos, mas que também apresentassem potencial para a restauração ou criação de habitats naturais costeiros. Adicionalmente, foram considerados cenários envolvendo a conversão de áreas urbanas públicas em espaços naturais e a retração planejada de infraestrutura urbana.

1.3.1. Eixo 1 - O valor que a natureza já entregou

O Eixo 1 tem como foco revelar e quantificar o valor econômico dos serviços de proteção costeira já prestados pelos ecossistemas naturais existentes, bem como daqueles que deixaram de ser fornecidos por sua degradação ou supressão. Trata-se da aplicação retrospectiva do olhar socioeconômico, voltada a avaliar os custos associados à perda ou redução da proteção natural, a partir da questão: Quanto vale o que a natureza já faz ou poderia ainda estar fazendo? Para isso, a análise traz casos nos quais houve degradação de ecossistemas, permitindo estimar o valor dos custos dos serviços não prestados. O valor econômico é estimado principalmente pelo método de custo incorrido (valor do dano), em uma abordagem (ex-post) baseada nos danos reais registrados devido à perda da proteção natural. Estes valores atuam como proxy dos serviços ecossistêmicos que estavam sendo prestados pela natureza.

Os estudos de caso priorizaram áreas urbanas onde manguezais e dunas vegetadas foram substituídos pela expansão urbana ou suprimidos em decorrência da implantação de obras de proteção costeira. Também foram considerados locais com e sem a presença de recifes de franja em frente à orla urbana, permitindo a avaliação de diferentes condições de proteção costeira. Para este eixo, foram selecionados três estudos de caso, contemplando áreas urbanas representativas dos seguintes ecossistemas costeiros: manguezais, recifes costeiros e praias com dunas vegetadas.

O caso de Salinópolis (PA) contempla a condição atual a substituição do manguezal por áreas urbanas. Sob o olhar antropocêntrico da prestação de serviços ecossistêmicos, o manguezal perdeu sua função como barreira de inundação urbana. Uma forma de valorar o serviço que deixou de ser prestado, portanto, é pelo custo de danos (materiais) e prejuízos (serviços que deixaram de ser realizados) que foram incorridos, que expressam a função de proteção perdida. Como acréscimo aos custos do dano, serão considerados os cobenefícios do manguezal que foram perdidos, notadamente a estocagem de carbono. Outros, como a manutenção de berçários pesqueiros e filtragem de poluentes da água foram considerados com base na transferência de benefícios, permitindo assim sua inclusão.

O caso de Natal (RN) segue a mesma lógica dos manguezais paraenses: as praias e dunas vegetadas da Praia de Ponta Negra realizavam a contenção de erosão costeira, mas foram progressivamente suprimidas pela expansão urbana e pelo uso intensivo turístico. A função de estabilização da linha de costa perdida será estimada pelos danos já incorridos em tentativas de reposição dos serviços (notadamente de enrocamentos), nos danos às propriedades e prejuízos às atividades econômicas, particularmente nas amenidades que suportam o valor recreacional e turístico, e que foram prejudicados (reduzidos) pelo processo de erosão.

Já o caso de Paulista (PE) apresenta um exemplo de como recifes costeiros ainda atuam como infraestrutura natural de proteção. O contraste espacial entre a Praia de Janga (sem recifes, com obras de proteção consolidadas) e a Praia de Pau Amarelo (com recifes em franja e menor erosão) constitui uma situação de quase-experimento natural privilegiada, na qual o custo de reposição foi estimado com base nos custos reais das obras de proteção implantadas em Janga, aplicados como valor proxy do serviço

prestado pelos recifes em Pau Amarelo. À valoração, foram adicionados os cobenefícios à biodiversidade marinha e ao turismo.

1.3.2. Eixo 2 - O valor que a natureza pode entregar

O Eixo 2 tem como foco a erosão costeira e as alternativas de intervenção para redução dos riscos associados, e parte de um olhar prospectivo. O avanço da erosão sobre áreas urbanizadas e infraestruturas aumenta a exposição a danos recorrentes e, em determinados contextos, torna a manutenção da situação atual uma alternativa pouco sustentável no longo prazo. A solução está na alternativa que entrega mais valor para a sociedade (mais benefícios por menos custos). Nesse cenário, o eixo avalia diferentes estratégias de intervenção, comparando a adoção de SBN com a implantação de infraestruturas convencionais de proteção costeira. A análise parte de situações hipotéticas de intervenção destinadas a reduzir os riscos associados à erosão costeira e ressacas, comparando diferentes estratégias de adaptação. O valor é derivado da comparação dos custos e dos benefícios (proteção, cobenefícios e externalidades), computados ao longo de um horizonte de 30 anos.

Para o caso de Copacabana, no Rio de Janeiro (RJ), a reconstrução de cordão arenoso vegetado foi comparada à implantação de muretas e enrocamentos para proteção da retaguarda urbana. No cenário de SBN, foram considerados custos de implantação, incluindo plantio de restinga, reposição sedimentar e cercamento, além dos custos de manutenção, utilizando parâmetros de projetos similares. No cenário convencional, foram estimados os custos de implantação e manutenção das estruturas de proteção na mesma extensão de orla. A análise incorporou, adicionalmente, diferenças nos cobenefícios associados à amenidade paisagística e proteção à biodiversidade.

O caso da Ponta da Praia, em Santos (SP), compara a continuidade da infraestrutura rígida existente com uma alternativa de remoção de infraestrutura pública costeira e recriação de praia com cordão arenoso vegetado. No cenário-base, foram considerados os custos futuros de manutenção, reparação e reforço da mureta e do enrocamento existentes, bem como a externalidade negativa associada ao aumento do risco de galgamento sobre o patrimônio imobiliário exposto. A alternativa de SBN inclui os custos de remoção da infraestrutura urbana, transporte e destinação dos materiais, reposição sedimentar, formação do cordão arenoso, plantio de espécies de restinga e manutenção. Os benefícios recreacionais, paisagísticos e ambientais da praia recriada, assim como as perdas de mobilidade e de equipamentos urbanos decorrentes da remoção da infraestrutura pública, foram reconhecidos qualitativamente, mas não monetizados.

Já o caso da Praia da Armação do Pântano do Sul, em Florianópolis (SC), compara a retração urbana planejada da primeira linha de ocupação, associada à reconstrução do sistema praia-cordão arenoso vegetado, com uma intervenção de engenharia costeira híbrida, predominantemente cinza, baseada em projeto desenvolvido pelo Município. O cenário de SBN inclui aquisição e demolição de imóveis, remoção do enrocamento e de outras estruturas, reposição sedimentar, restauração da vegetação, drenagem, urbanização e manutenção. A alternativa combina alimentação artificial da praia (engorda), geotubos submersos, molhe, enrocamento de proteção, drenagem, passarelas e obras de urbanização. Os benefícios recreacionais e imobiliários associados à restituição da faixa de areia foram estimados como benefícios comuns às alternativas e, portanto,

não integram a comparação incremental. Os cobenefícios ecológicos da vegetação de restinga e os custos sociais do deslocamento involuntário foram reconhecidos qualitativamente, mas não monetizados.

Nota-se que os três estudos de caso representam graduações crescentes de complexidade e profundidade da intervenção necessária, organizadas em três cenários típicos:

- O caso de Copacabana envolve restauração ecológica sem remoção de infraestrutura existente, perfazendo um contexto de intervenção de menor perturbação, com reconstrução de habitat praial com cordão arenoso vegetado;
- Já o caso de Santos inclui a remoção de infraestrutura pública (parques urbanizados, orlas impermeabilizadas ou modificadas com vegetação de gramíneas, vias costeiras) como condição para viabilizar a restauração ou criação de habitats naturais; e
- O caso de Florianópolis representa a intervenção mais estrutural, com retração urbana planejada, ou seja, remoção de edificações e terrenos privados em áreas de risco, seguida de restauração costeira de habitats naturais.

A inclusão de casos de retração da ocupação costeira dialoga com uma literatura recente e em expansão sobre *managed retreat*, definida como o deslocamento intencional e coordenado de pessoas e ativos para fora de áreas de risco (Siders, 2019). Hino et al. (2017), ao analisarem 27 experiências que reassentaram cerca de 1,3 milhão de pessoas, mostram que se trata de alternativa real à proteção estrutural, ainda que complexa em sua implementação. Na síntese de Cross et al. (2025), suas vantagens potenciais incluem evitar ciclos repetidos de dano e reconstrução, eliminar a exposição, evitar os impactos negativos das obras de proteção e gerar amenidade e proteção para o entorno pela renaturalização das áreas liberadas. A análise econômica de *managed retreat*, segundo estes autores, é bastante influenciada por aspectos como: o horizonte de análise, que se definido pela vida útil da infraestrutura cinza, pode reduzir a leitura dos benefícios da retração, que tendam a ser permanentes; o uso de taxas de desconto que penalizam alternativas de custo inicial elevado; e a dificuldade na expressão monetária de intangíveis como o apego ao lugar e os cobenefícios das terras liberadas.

Dois cuidados metodológicos decorrem dessa literatura e orientam a construção dos casos de Santos e de Florianópolis, o primeiro sendo a distinção entre transferências de custos de oportunidade. O pagamento pela aquisição de imóveis privados (indenização) é uma transferência entre agentes econômicos, portanto é neutra na ótica social (HM Treasury, 2020). Já o valor de uso dos ativos retirados de serviço é um custo econômico real, incorrido tanto por ativos públicos como privados, e em casos com ou sem compensação (Brasil, 2022a). A escolha das fronteiras da análise define, afinal, o que se classifica como transferência (Boardman et al., 2018), não havendo, a priori, um tratamento específico a ser sempre seguido. O segundo cuidado vem de Parsons e Powell (2001), que salientam que parte do valor específico de imóveis de frente para o mar corresponde a um prêmio de proximidade que não se perde com uma retração, mas sim migra para os imóveis da retaguarda. Com essa leitura, somente a terra e o capital efetivamente eliminados constituem perda social que deve ser contabilizada.

Nos três casos do Eixo 2, a alternativa de SBN é confrontada com uma engenharia convencional de adaptação costeira, que pode compreender a implantação de nova

infraestrutura, a manutenção de estruturas existentes ou a combinação de alimentação artificial da praia com obras rígidas. A delimitação espacial foi realizada caso a caso, considerando a extensão do processo erosivo, a configuração geomorfológica, a disponibilidade de espaço para restauração, a pegada da infraestrutura existente, a localização dos ativos expostos e parâmetros da literatura técnica. As comparações representam alternativas funcionalmente orientadas ao mesmo propósito de proteção costeira, sem pressupor identidade de desempenho hidrodinâmico.

Para fins da comparação econômica, adotou-se como convenção analítica que as alternativas são funcionalmente orientadas ao mesmo objetivo de proteção. Isso não representa demonstração de equivalência hidrodinâmica, que exigiria modelagem específica para cada localidade. Ademais, a equivalência reflete a proteção inerente dos sistemas em termos de propósito, mas não necessariamente na forma com a qual a desempenham. Segundo Amorim et al. (2023), um cordão arenoso vegetado dissipa energia de onda por atrito e rugosidade, retém sedimento por fixação radicular e se adapta dinamicamente ao subir e descer com o balanço sedimentar sazonal. Já o enrocamento e a mureta dissipam ou refletem energia de onda por massa e geometria fixa. Embora ambos protejam as áreas em sua retaguarda contra a erosão, as SBN requerem um maior "espaço" para seguir se adaptando, enquanto as muretas podem produzir reflexão de onda oblíqua (ou de borda) que pode acelerar a erosão local ou em trechos adjacentes. Ou seja, apesar de atingirem o mesmo objetivo por caminhos diferentes, as SBN e as infraestruturas cinza podem gerar efeitos colaterais opostos no sistema costeiro mais amplo.

É importante ressaltar que estas análises não avaliam nem inferem a eficiência das SBN em si. Sua efetividade depende das condições locais e das características específicas do ecossistema a ser restaurado, aspectos que não são objeto deste estudo. As comparações apresentadas têm, portanto, caráter hipotético e ilustrativo, contrastando duas soluções situadas em extremos opostos do espectro de intervenção: de um lado, as infraestruturas convencionais de engenharia cinza e, de outro, as Soluções baseadas na Natureza, associadas a ambientes costeiros.

Importante também distinguir o papel das muretas, que acabam por cumprir uma função estrutural de contenção de solo e, tipicamente, de calçadões, servindo de arrimo para o terreno da retaguarda. Essa é uma função que um cordão litorâneo vegetado não vai exercer, pois simplesmente não tem resistência estrutural rígida ao empuxo lateral. É justamente por essa razão que alguns estudos de caso do Eixo 2 requerem a remoção de estruturas rígidas. Reforça-se que nenhuma das alternativas aqui estudadas (SBN ou infra cinza) tiveram seu desempenho avaliado por modelagem específica de agitação marítima, galgamento ou evolução da linha de costa para cada localidade.

1.4. Estrutura metodológica da avaliação

1.4.1. Definições e convenções de base

Uma vez que a avaliação se dá no âmbito socioeconômico, ou seja, mensura o retorno líquido à sociedade como um todo, todos os cenários sendo comparados devem constituir unidades autossuficientes de análise. Ou seja, a concepção dos projetos avaliados

deve contemplar todas as obras, atividades e serviços necessários ao cumprimento integral de seus objetivos, garantindo que os cenários analisados incluam os elementos indispensáveis à geração dos benefícios socioeconômicos esperados.

Os seis estudos de caso foram estruturados como unidades autossuficientes de análise, dentro do nível de aprofundamento compatível com estudos de pré-viabilidade. Cada caso delimita um território, uma intervenção e uma pergunta econômica própria, permitindo apresentação modular dos resultados. Permanecem, contudo, efeitos não monetizados e requisitos de estudos técnicos posteriores, explicitados em cada caso.

Quanto ao horizonte de análise, nas análises do Eixo 1, que são retrospectivas (ex-post), este foi definido caso a caso a partir do histórico de perda dos serviços ecossistêmicos (Salinópolis e de Natal) e das intervenções que compensam a ausência de serviços ecossistêmicos (Paulista). Já nos estudos de caso ex-ante do Eixo 2, o horizonte temporal adotado é de 30 anos, conforme prática das análises de custo-benefício (Brasil, 2022a).

A data-base de valores para o presente estudo é o ano de 2025, ou seja, todos os valores são expressos a preços constantes de 2025, inclusive os resultados das análises ex-antes que, como visto anteriormente, são os valores presentes das projeções futuras de custos e benefícios. Para a atualização inflacionária dos valores de obras de infraestrutura, utiliza-se do Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), calculado pela FGV, como deflator. O índice mede a variação de preços dos insumos que compõem, tipicamente, um empreendimento civil, como materiais e equipamentos (54,8% do peso), mão de obra (39,4%) e serviços técnicos de obra (5,8%). Já o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), calculado pelo IBGE, é utilizado para corrigir o poder de compra da moeda para itens gerais que englobam bens e serviços de consumo.

Quando da necessidade de conversão de valores internacionais, principalmente para a aplicação do método de transferência de benefícios, adotou-se a seguinte rotina de cálculo: primeiramente, atualiza-se o valor referencial para dólares de 2025 (com base no índice de preços ao consumidor americano, que variou 2,63% nesse período), para então realizar a conversão de US$ para R$ com base na paridade de poder de compra (PPP) de 2025 entre as duas moedas (R$ 2,5572)[3]. O uso da cotação PPP permite equalizar o poder aquisitivo entre países, corrigindo diferenças de nível de preços que não são captadas pela taxa de câmbio nominal, tornando mais consistente a transferência internacional de valores econômicos. Para conversões de € para R$, considerou-se a cotação implícita de R$ 4,049, resultado da cotação de 0,63157 da moeda única europeia para o dólar americano.

Para a valoração do sequestro de carbono, é aplicado o custo social do carbono (CSC), que representa os gastos que, hipoteticamente, seriam necessários para compensar os prováveis impactos nocivos das mudanças do clima sobre a sociedade[4]. Pela sua própria definição, o custo social do carbono diminuirá caso as emissões sejam controladas de forma rígida; caso contrário, o estrago potencial sobe e o custo social também. Esse

[3] Annual Purchasing Power Parities and exchange rates, OECD. Disponível em link.
[4] Os impactos da mudança do clima sobre a sociedade são abordados em grande detalhe pelo 6º Report do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), disponível em link.

valor não é, necessariamente, equivalente ao valor de mercado da emissão evitada (custo de abatimento).

1.4.2. Estimativa de benefícios e métodos de valoração

Segundo o Guia ACB (Brasil, 2022a), o resultado de viabilidade é dado pela diferença entre os custos e benefícios da alternativa de intervenção que está sendo estudada, contra um cenário contrafactual. Dessa forma, a comparação entre alternativas díspares como as SBN e uma infraestrutura cinza se torna crível e justa, pois ambas atendem às mesmas demandas sociais (benefícios sociais). Um aspecto central dessa lógica, quando aplicada às SBN costeiras, é que os benefícios são, em grande medida, custos evitados: ao proteger a costa, uma área de manguezal evita inundações - ou seja, que famílias percam patrimônio, que atividades econômicas sejam interrompidas e que o setor público gaste com obras de reparação, reconstrução e consequentes manutenções.

Estes benefícios são aqueles que justificam a razão de ser das intervenções (são as entregas à sociedade). Uma infraestrutura de transportes, por exemplo, promove aos seus usuários a redução nos tempos de viagem, maior segurança viária, redução nos custos operacionais dos veículos, dentre outros. Investimentos em saneamento básico, por sua vez, promovem melhorias na saúde pública e ao meio ambiente, elevando inclusive a produtividade do trabalhador. A proteção costeira, por sua vez, contribui para a redução de danos sobre infraestrutura urbana pública, redução de prejuízos às atividades econômicas locais e proteção de bens e imóveis. No caso das SBN costeiras, esses benefícios se ampliam para cobenefícios que extrapolam a função protetora, pois também geram sequestro de carbono, mantêm berçários pesqueiros, melhoram a qualidade da água, suportam o turismo e promovem a valorização imobiliária.

Para monetizar o contraste entre os cenários, o estudo fez uso de abordagens complementares, reconhecidas na literatura de valoração de recursos naturais e serviços ecossistêmicos. Apresentam-se abaixo os métodos considerados, mesmo que não necessariamente aplicados.

O método de custo de reposição serve como proxy do valor econômico do serviço ecossistêmico prestado gratuitamente: estima quanto custaria substituir o serviço de proteção costeira por uma obra de engenharia equivalente. Se um trecho de manguezal atenua a energia das ondas tanto quanto um dique de concreto, o custo de construção e manutenção da hipotética infraestrutura cinza representa o valor mínimo do serviço prestado pelo ecossistema. A estimativa dos custos da infraestrutura cinza pode ser realizada com base em orçamentos de obras executadas no país, informações disponibilizadas por prefeituras e órgãos públicos, relatórios e projetos técnicos.

O método de perdas evitadas estima os danos físicos e os prejuízos às atividades econômicas que o ecossistema evita ao proteger a costa contra erosão e inundação, ou seja, mensura o benefício como o custo do dano que não ocorreu. Compara-se o cenário de danos esperados com e sem a presença do ecossistema, partindo-se de eventos pretéritos e concepções contrafactuais. A principal fonte de dados históricos é o Atlas Digital de Desastres, que apresenta registros de danos municipais causados por eventos com

reconhecimento de severidade pelo Governo Federal, além de dados socioeconômicos como população e ativos expostos.

O método de preços hedônicos, por sua vez, permite estimar o valor que os agentes econômicos atribuem implicitamente à qualidade ambiental costeira por meio de modelos estatísticos do mercado imobiliário. A diferença de preços entre imóveis similares em locais com e sem proteção do ecossistema, captura o valor de amenidade e de segurança que a natureza proporciona, refletindo indiretamente o custo evitado de degradação ambiental na percepção dos proprietários e do mercado.

O método de valoração de produção (ou produtividade) estima os benefícios dos ecossistemas costeiros sobre atividades econômicas que dependem diretamente de sua saúde. Manguezais e recifes atuam como berçários para espécies de valor comercial, sustentando a produtividade pesqueira de comunidades costeiras; praias e dunas conservadas sustentam o turismo e a recreação, gerando renda e emprego locais. O benefício econômico é estimado pela variação na produtividade dessas atividades entre os cenários com e sem o ecossistema, isto é, pelo custo evitado de perda de renda que a degradação ou remoção do habitat implicaria.

Já o método de custo de viagem pode ser aplicado para estimar o valor recreacional e turístico de praias, dunas e recifes conservados, com base no comportamento real dos visitantes. O custo da viagem (transporte, hospedagem e tempo) revela a disposição a pagar mínima pelo acesso ao ambiente natural.

Em alguns estudos de caso, os gastos turísticos são empregados como métrica da capacidade econômica do local de atrair, reter e oferecer amenidades aos visitantes. Esses gastos não constituem, por si só, uma medida integral de bem-estar ou de excedente do consumidor, mas revelam valor associado às características ambientais, recreacionais e paisagísticas específicas do território. Mesmo quando parte do consumo pode ser deslocado, sua redução no local analisado continua expressando a perda de uma função econômica que aquele espaço oferecia. Em comparações incrementais entre alternativas, contudo, o possível deslocamento dos gastos deve ser ponderado de acordo com a fronteira da análise, o objetivo da valoração e a possibilidade de que a mesma despesa permaneça na economia em outro local, evitando-se interpretar automaticamente toda redução local de gasto como perda líquida para a sociedade.

Por fim, o método de custo evitado pode ser aplicado para os serviços de filtragem de poluentes e melhoria da qualidade da água providos por manguezais e marismas: estima-se o custo que o poder público ou a sociedade incorreria para tratar o efluente equivalente caso o serviço ecossistêmico não existisse, traduzindo em valor monetário direto o benefício de qualidade ambiental prestado gratuitamente pela natureza.

A contabilização conjunta de benefícios diretos e cobenefícios seguiu o princípio da ACB que evita a dupla contagem, pois quando dois métodos capturam, mesmo que parcialmente, o mesmo valor econômico, foi utilizado apenas um dos referenciais. Os métodos descritos constituem o repertório disponível para o estudo, e não um protocolo fixo que foi aplicado integralmente em todos os estudos de caso. Cada localidade apresenta características próprias de ecossistema, exposição ao risco, disponibilidade de dados e dinâmica socioeconômica, que determinam quais foram pertinentes, viáveis e suficientes para capturar o valor econômico associado.

Essa seleção foi orientada, na prática, por dois critérios complementares: (i) pertinência analítica, isto é, a capacidade de representar adequadamente o serviço ecossistêmico mais relevante para o contexto avaliado; e (ii) viabilidade operacional, relacionada à disponibilidade e à qualidade dos dados necessários para produzir estimativas robustas. Em cada estudo de caso, foi aplicado o método ou conjunto mínimo de métodos capaz de produzir estimativas economicamente relevantes, metodologicamente robustas e complementares, evitando sobreposição ou redundância entre as abordagens empregadas. A adição de métodos complementares só se justifica quando agrega dimensões de valor não capturadas pelos principais, condicionada a dados que permitem estimativas defensáveis.

1.4.3. Custos diretos e conversão a preços sociais

Os custos têm, geralmente, mensuração mais direta que os benefícios, uma vez que advém dos orçamentos de investimentos em capital (Capex) e de gastos operacionais, de manutenção e de gestão (Opex) necessários para realizar a entrega dos benefícios. Esses custos diretos devem cobrir toda a vida útil prevista, incluindo o horizonte temporal do investimento até o início de geração de benefícios.

Especificamente para as SBN, o estudo fez uso das seguintes referências técnicas:

- Manual para Projetos de Recuperação da Vegetação Nativa (IBAMA, 2021);
- Guia Metodológico para estabelecimento de Modelos de Negócios para Parques Lineares e Fluviais e para Quantificação dos Benefícios Ambientais, Econômicos e Sociais de SBN Existentes nessas Áreas (City Climate Finance Gap Fund, 2023);
- *Coastal Green-Gray Infrastructure Analysis Tool*, desenvolvida para a Conservation International (CI, 2024); e
- A Catalogue of Nature-Based Solutions for Coastal Resilience (World Bank, 2026).

Sempre que possível, foram utilizados dados provenientes de projetos brasileiros de restauração ecológica e adaptação costeira. Na ausência de informações específicas, os custos foram estimados com base em literatura técnico-científica, relatórios institucionais, bancos de custos públicos, ou projetos similares internacionais. Nesses casos, os valores foram devidamente ajustados à realidade brasileira com base em métodos econômicos de equiparação, com explicitação dos pressupostos e valores utilizados no processo de ajuste.

Além destas, fez-se uso de preços oriundos de catálogos referenciais, notadamente o SICRO-DNIT[5], SINAPI-Caixa[6], SCO-Rio[7] (catálogo específico da cidade do Rio de Janeiro, que é um dos estudos de caso do Eixo 2), e o Custo Básico Unitário da Construção Civil

[5] Sistema de Custos Referenciais de Obras (SICRO), Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Disponível em link.
[6] Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil (SINAPI), Caixa Econômica Federal. Disponível em link.
[7] Sistema de Custos para Obras e Serviços de Engenharia (SCO-Rio), Secretaria Municipal de Infraestrutura da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. Disponível em link.

(CUB)[8]. Sempre que pertinente, foram consultados os preços na condição onerada, adotada como convenção de homogeneização e de estabilidade para o horizonte temporal da análise.

Os orçamentos de Capex e Opex, ao tomarem cotações de preços de mercado, acabam embutindo distorções como a incidência de tributos, subsídios, restrições de concorrência (ex.: monopólios e monopsônios) ou restrições à formação livre de preços (ex.: acordos sindicais). Para corrigir os preços de mercado de forma que representem os custos sociais (corrigindo as distorções) foram aplicado os fatores de conversão previstos no Catálogo de Parâmetros (Brasil & IPEA, 2022). Fatores de conversão são definidos como o quociente entre os preços sociais e de mercado, e foram produzidos com base na estrutura macroeconômica nacional especificamente para esse fim. Os preços sociais resultantes são aqueles que, do ponto de vista da sociedade, espelham os custos de oportunidade sob o princípio da eficiência alocativa.

1.4.4. Externalidades e cobenefícios

Além dos benefícios e dos custos sociais, a ACB requer a consideração das externalidades, que são os impactos que não são sentidos pelos atores diretamente envolvidos nas transações, ou seja, entre o ofertante e os usuários dos serviços do projeto, mas sim recaem sobre terceiros. Posto de outra forma, uma externalidade é geralmente um custo (mas pode ser também um benefício) que extravasa do projeto para partes externas sem a devida compensação. De fato, quando a compensação ocorre, passa a ser internalizada nos custos e deixa de ser, por definição, uma externalidade. Devido à natureza dos efeitos ambientais e sociais dos projetos, estes são os principais componentes das externalidades no contexto da ACB. No caso das SBN, a grande maioria das externalidades são positivas. Dessa forma, são denominadas de cobenefícios.

Devido à sua natureza, as externalidades não são capturadas no rol dos custos de implantação, de operação e manutenção, ou mesmo dos benefícios diretos do projeto. Não obstante, devem compor o conjunto de efeitos monetários da ACB de forma a permitir a correta avaliação dos efeitos líquidos a serem gerados para a sociedade. Afinal, a abordagem da ACB é calcada na maximização da eficiência *(value for money)*. Não contabilizar o aumento da poluição local do ar gerada por um projeto de transportes, por exemplo, pode inflar artificialmente os ganhos previstos caso não contabilize os gastos com saúde pública devido às enfermidades geradas, bem como a produtividade perdida pelas comorbidades. Em outro exemplo, não considerar as externalidades positivas geradas por um parque natural sob o bem-estar da população, pode levar à subestimação dos efeitos positivos reais, alocando-se ao parque menos recursos do que seriam socialmente eficientes.

Dessa forma, as externalidades precisam ser aferidas separadamente e devidamente incluídas no balanço monetário que embasa os indicadores da análise de viabilidade da ACB. Considerar as externalidades requer sua quantificação e valoração, o que pode ser uma tarefa desafiadora, principalmente para as ambientais, ainda que sejam facilmente identificáveis. Geralmente, a valoração se faz com a abordagem de Disposição a

[8] Custo Unitário Básico da Construção Civil (CUB/m^2), Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC) e Sindicatos da Indústria da Construção Civil. Disponível em link.

Pagar ou ainda de Disposição a Receber Compensação. Mesmo antes de se auferir valor monetário à externalidade, esta deve ser devidamente quantificada quanto ao seu efeito físico, isolando o que é gerado pelo projeto (e pelo cenário base) e permitindo a aplicação de valores representativos (relações de causa-efeito bem estabelecidas).

Consideração das externalidades para as SBN costeiras

Sob o referencial do Triplo Dividendo da Resiliência, sistematizado pelo World Resources Institute (Heubaum et al., 2022; Brandon et al., 2025), os benefícios dos investimentos em adaptação climática devem ser compreendidos em três dimensões complementares: perdas evitadas, benefícios econômicos induzidos e cobenefícios sociais e ambientais. Embora formulado para fundamentar decisões de adaptação frente aos riscos climáticos, esse referencial é diretamente aplicável às SBN costeiras, uma vez que ecossistemas como manguezais, restingas, dunas, recifes e marismas desempenham funções de proteção e redução de riscos associados a inundações, erosão, ressacas e elevação do nível do mar. Assim, o principal conjunto de atributos valorados para as SBN nos eixos 1 e 2 deste estudo corresponde ao primeiro dividendo: os danos patrimoniais e as perdas econômicas evitados em razão da presença, conservação ou restauração do ecossistema, constituindo o núcleo de sua função adaptativa e de redução de risco.

Essa mensuração, contudo, não esgota o valor econômico das SBN voltadas à proteção costeira. O segundo dividendo abrange os benefícios econômicos induzidos pela maior resiliência e previsibilidade das condições costeiras, tais como valorização imobiliária, maior segurança para investimentos, sustentação das receitas de turismo e pesca e manutenção da produtividade local. O terceiro dividendo reúne cobenefícios sociais e ambientais, incluindo a conservação da biodiversidade, a manutenção de estoques e fluxos de carbono azul, a melhoria da qualidade ambiental, a proteção de valores culturais e identitários e outros serviços ecossistêmicos apropriados como externalidades positivas. Dessa forma, o Triplo Dividendo permite compreender que a contribuição das SBN para a adaptação climática transcende a redução imediata dos danos, abrangendo ganhos econômicos permanentes e benefícios socioambientais que podem ocorrer inclusive na ausência de um evento extremo.

Segundo Brandon et al. (2025), a revisão de evidências e a análise comparativa de 320 investimentos de adaptação climática realizados em 12 países permitem sustentar que as relações benefício-custo frequentemente superam 5:1, revelando benefícios privados e coletivos substancialmente superiores aos usualmente reconhecidos nas decisões de investimento. Não obstante, os autores salientam que é justo no primeiro dividendo - a redução das perdas esperadas - que reside o maior desafio metodológico. A estimativa de perdas evitadas exige desde a concepção verossímil de um cenário contrafactual (os danos que ocorreriam sem a medida de adaptação) a ser comparado aos danos residuais após a implantação da intervenção, bem como a modelagem da ameaça climática, da probabilidade e intensidade dos eventos, da exposição de pessoas e ativos, de sua vulnerabilidade e das funções que convertem o impacto físico em perdas econômicas.

A justificativa do presente estudo reside justamente na abordagem desse primeiro dividendo, fazendo uso dos estudos de caso para cobrir lacunas metodológicas, de dados e de incertezas, apresentando resultados em escala local que podem ser representativos das ordens de grandeza encontradas em demais situações. Essa estimativa é

central para a análise econômica das SBN costeiras, uma vez que as perdas evitadas constituem o mecanismo mais direto pelo qual a intervenção reduz o risco climático e protege patrimônio, renda, serviços e vidas. Além disso, a quantificação explícita desse dividendo permite comparar alternativas de investimento, dimensionar benefícios ao longo do tempo e evitar que a incerteza inerente ao risco seja confundida com ausência de benefício econômico.

Estimação de cobenefícios socioambientais

Embora a ênfase desses estudos de caso de SBN seja demonstrar o primeiro dos dividendos, torna-se também relevante apresentar, quando possível, as externalidades positivas das soluções. Para esse propósito, é adotado o método de transferência de benefícios a partir dos valores sistematizados pela *Coastal Green-Gray Infrastructure Analysis Tool*, desenvolvida para a Conservation International (CI, 2024). A ferramenta é voltada à análise econômica de alternativas de infraestrutura verde, cinza e híbrida em zonas costeiras do Brasil, México, Suriname e Guiana. Estruturada segundo a classificação da TEEB[9] para serviços ecossistêmicos, a ferramenta reúne valores monetários derivados de revisão de literatura e do portal de dados ESVD[10] para diferentes tipologias costeiras, aplicados mediante procedimentos de transferência de benefícios ajustados por paridade de poder de compra.

Os valores de referência desta publicação são expressos em dólares por hectare por ano (US$/ha/ano) para o ano de 2024, distinguindo, quando a evidência disponível permite, os valores específicos de cada tipologia de valores atribuídos a sistemas costeiros de forma ampla. No presente estudo, apenas os parâmetros específicos a cada tipologia são empregados para a transferência de benefícios na valoração das externalidades ambientais e sociais associadas às SBN analisadas.

Essa abordagem é pertinente quando as SBN desempenham, simultaneamente, funções de redução de riscos e uma gama mais ampla de serviços ecossistêmicos.

- Os manguezais, por exemplo, atuam como infraestrutura natural costeira de multifuncionalidade: dissipam a energia de ondas, marés de tempestade e inundações; retêm sedimentos; estabilizam a linha de costa; filtram o escoamento superficial; reduzem cargas de nutrientes e poluentes; limitam a intrusão salina; fornecem habitat e áreas de berçário para diversas espécies; e acumulam carbono azul, sobretudo em seus solos orgânicos profundos. Na matriz da CI, os cobenefícios potencialmente atribuíveis a manguezais incluem alimentos, regulação da qualidade do ar e do clima, moderação de distúrbios, regulação do fluxo de água, tratamento de resíduos, prevenção da erosão, manutenção da fertilidade do solo, diversidade genética, informação estética, pesca e recursos energéticos.
- De forma análoga, praias e dunas constituem um sistema morfodinâmico integrado, no qual sedimentos, vento, ondas, marés, correntes e vegetação condicionam a dissipação da energia incidente e a capacidade de resposta da costa a eventos extremos. A praia atua como faixa de dissipação de energia, enquanto

[9] The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB). Disponível em link.
[10] Ecosystem Service Valuation Database (ESVD). Disponível em link.

as dunas e os cordões arenosos funcionam como reserva sedimentar e barreira topográfica no pós-praia. Além de reduzir o risco de inundação e erosão costeira, amortecer ondas e ressacas e proteger áreas a jusante, tais feições proporcionam habitat, conectividade ecológica, valor paisagístico, identidade territorial, lazer, turismo e suporte a atividades como banho, caminhada, pesca, surfe e navegação. Para estes ambientes, a CI identifica serviços associados à provisão de matérias-primas, recursos genéticos, moderação de distúrbios, prevenção da erosão, manutenção dos ciclos de vida de espécies migratórias, informação estética, turismo recreativo e inspiração cultural.

- Os recifes de coral costeiros também desempenham função de proteção primária em ambientes tropicais, pois a quebra de ondas sobre sua crista e o atrito no fundo reduzem a energia antes de sua chegada às praias e à infraestrutura costeira. A efetividade desse mecanismo depende de atributos como elevação e largura da crista recifal, rugosidade, porosidade, orientação, batimetria, distância da costa e regime local de ondas e marés. Além de contribuírem para a redução de inundações, danos por tempestades e erosão, e para a estabilidade de praias adjacentes, os recifes sustentam elevada biodiversidade e conectam-se funcionalmente a manguezais, pradarias marinhas e praias. A matriz da CI atribui aos recifes de coral serviços relacionados a alimentos, recursos genéticos, regulação climática, moderação de distúrbios, tratamento de resíduos, prevenção da erosão, manutenção de ciclos de vida de espécies migratórias, biodiversidade, turismo recreativo, inspiração cultural, desenvolvimento cognitivo, pesca comercial e recreativa, pesquisa e valores de não uso.

A transferência desses valores deve ser interpretada, contudo, como uma estimativa de fluxos incrementais de benefícios associados. Em cada um dos estudos de caso, portanto, serão identificados e selecionados apenas os serviços ecossistêmicos compatíveis com a realidade biofísica, o uso socioeconômico, os beneficiários e o mecanismo causal efetivamente verificados em cada local. Esse cuidado é também necessário para evitar dupla contagem entre serviços correlatos, especialmente entre a moderação de distúrbios e os danos de inundação ou erosão já estimados como perdas evitadas, bem como entre benefícios de recreação e turismo e valores estéticos ou culturais.

1.4.5. Indicadores de viabilidade e incertezas

Finalmente, a partir do balanço monetário a preços sociais entre os custos, os benefícios e as externalidades (positivas e negativas), foram calculados os indicadores de viabilidade econômica. Para cada um dos eixos de análise, cabem considerações acerca do tratamento do custo de oportunidade temporal. Nas análises ex-post, os valores pretéritos são expressos a preços de 2025, de forma a permitir sua comparabilidade e agregação ao longo do período analisado. A realização da correção monetária assegura que os valores monetários de anos distintos sejam expressos em uma mesma unidade de poder aquisitivo.

Além da atualização inflacionária, nota-se que a literatura internacional acerca da valoração de perdas e danos históricos, especialmente de origem ambiental (*Natural Resource Damage Assessment*), recomenda também realizar a capitalização intertemporal, que consiste na aplicação de taxa de desconto em sentido inverso sobre perdas

ocorridas no passado (Horsch et al., 2023; Rickels et al., 2023). Esse procedimento resulta em valores, na data de referência, mais elevados do que a simples adição dos valores no tempo (já pressupondo que estão expressos a preços constantes). O pressuposto para esse racional é que a indisponibilidade do serviço ecossistêmico ao longo do tempo, ou ainda sua eventual compensação não recebida, acarreta custo de oportunidade que o transcorrer do tempo faz materializar. Uma vez que o presente estudo não traz finalidade reparatória, indenizatória ou compensatória, esse procedimento não é aqui adotado; além disso, nestes contextos, seria necessário incorporar hipóteses sobre a taxa social de desconto, juros compensatórios, fatores de risco, eventuais custos de capital e até de regimes jurídicos de reparação.

Nas análises ex-post do Eixo 1, portanto, o indicador monetário é tão somente a somatória dos valores pretéritos, expressos a preços de 2025. Esse fluxo de valores, somados até a presente data, é então denominado simplesmente de valor acumulado. Uma vez que esse procedimento não envolve capitalização temporal, não se tem um indicador equivalente ao valor presente líquido em sentido convencional. Mesmo assim, torna-se uma expressão verossímil do valor que se almeja refletir - de contribuições das SBN costeiras para a sociedade.

Já nos estudos de caso ex-ante do Eixo 2, os custos, benefícios e externalidades são projetados para um horizonte de 30 anos e descontados pela Taxa Social de Desconto de 8,5% ao ano. Conforme a estrutura de cada comparação e a possibilidade de identificar fluxos incrementais de benefícios, são empregados indicadores como a diferença de valor social presente entre as alternativas, o Índice Benefício-Custo e a Taxa de Retorno Econômica. Nos casos em que o benefício de proteção foi convencionalmente tratado como equivalente entre as alternativas, a decisão econômica se concentra na comparação dos custos sociais presentes e das externalidades diferenciais.

Os preços-base para essa análise são também o ano de 2025. Seguindo as práticas da ACB, não são incluídas variações de preços relativos nas projeções, salvo para itens (como o custo social do carbono e as manutenções em um ambiente hidrodinâmico sob mudança do clima) que sofrem de aumentos progressivos acima da variação dos demais.

Conforme a recomendação metodológica do Guia ACB, além das boas práticas internacionais, é necessário avaliar incertezas ao projeto, pois podem ser relevantes para o tomador de decisão ao informar elementos não capturados nos indicadores de viabilidade padrão da análise. Algumas destas avaliações são puramente subjetivas (não retornam modificações aos resultados numéricos da ACB), enquanto outras podem ter repercussão direta nos resultados. Para lidar com esses casos, foram realizados testes de sensibilidade, suposições alternativas e análises das principais premissas críticas.

2. Manguezal em Salinópolis (PA)

Ficha-resumo

Ecossistema: Manguezal

Município: Salinópolis, PA

Local: Baixada de Salinópolis - Bairros Guarani, Prainha e João Paulo II



Figura 1 - Área do estudo de caso de Salinópolis, destacando os polígonos classificadas como de alto risco de inundação (em amarelo) e os manguezais adjacentes à área urbana

Área de análise: 41,52 ha, correspondente às áreas de alto risco de inundação.

Característica: Área urbanizada sujeita a inundações costeiras associadas à combinação de marés altas e chuvas intensas. Áreas urbanas adjacentes são circundadas por manguezais.

Contextualização: Salinópolis está inserida em uma região com ampla cobertura de manguezais, mas parte da expansão urbana vem avançando sobre áreas originalmente ocupadas por essa vegetação. Na Baixada de Salinópolis, incluindo os bairros Guarani e Prainha, assim como no bairro João Paulo II (Figura 1), há áreas urbanas classificadas como de alto risco à inundação durante eventos que combinam marés altas com chuvas intensas. O local constitui um estudo de caso representativo para avaliar os custos e benefícios associados à conservação de manguezais em comparação com cenários de sua substituição por ocupação urbana e consequente necessidade de investimentos em infraestrutura para redução do risco de inundação.

2.1. Histórico socioambiental

Salinópolis é um município do litoral nordeste do estado do Pará, distante cerca de 220 km da capital estadual, componente da Região Geográfica Intermediária de Castanhal, além de integrar a Região de Integração Rio Caeté (conforme classificação regional estadual) e ser a cidade-polo da zona do Salgado Paraense. Possui área territorial de 226,120 km^2 e tem altitude média de 21 metros, sendo popularmente conhecido pelo nome de "Salinas".

Em 2022, contava com 44.772 habitantes, consolidando crescimento expressivo de 19,64% em relação aos registros do Censo de 2010. O último censo revelou uma densidade demográfica de 198,0 habitantes por km^2, uma média de 3,3 moradores por residência e um grau de urbanismo de 91,9%. As estimativas mais recentes do IBGE projetam uma população de 48.663 habitantes para 2025.

Em termos econômicos, o IBGE registra um Produto Interno Bruto per capita de R$ 17.919,40 (dados de 2023), enquanto o Índice de Desenvolvimento Municipal (IFDM), calculado pela Firjan com base em dados de 2023, é de 0,561, classificado na faixa de desenvolvimento baixo. A taxa de escolarização da população entre 6 e 14 anos alcançava 98,22% em 2022, e a taxa de mortalidade infantil era de 11,32 óbitos por mil nascidos vivos em 2023.

Quanto à estrutura produtiva, tem-se uma economia fortemente concentrada no setor de serviços, refletindo sua posição como um dos principais destinos turísticos do litoral paraense. O PIB municipal alcançou R$ 802,3 milhões, com 53,1% do valor adicionado proveniente dos serviços, seguido pela administração pública (32,8%), pela indústria (10,4%) e pela agropecuária, que responde por apenas 3,8% do valor adicionado. Historicamente ligada à extração de sal marinho (origem do nome do município) e à pesca artesanal, a economia local sofreu uma transição estrutural a partir da década de 1960, quando o turismo, sobretudo nas praias do Maçarico, Corvinas, Farol Velho e Atalaia, tornou-se a atividade econômica predominante, ainda que a pesca artesanal continue relevante, com produção destinada tanto ao consumo familiar quanto ao

abastecimento de hotéis e restaurantes locais. O município concentra cerca de 4,7 mil empregos formais.

Clima, marés e o litoral de Rias Amazônicas

O clima de Salinópolis é classificado como equatorial úmido, com cerca de quatro meses de estação seca (agosto a novembro) e uma quadra chuvosa bastante intensa entre janeiro e maio, com pico em março e abril. O índice pluviométrico médio anual em Salinópolis[11], medido desde 1977, é de 2.875 mm, aliado à elevada umidade relativa do ar durante praticamente todo o ano e temperaturas médias anuais próximas de 26°C, com baixa amplitude térmica ao longo do ano. Essas características, típicas do litoral amazônico e seu padrão de chuvas intensas (60% da pluviosidade ocorre entre fevereiro e abril), combinam-se com o regime de marés e geram episódios de elevação das águas dos rios que no litoral de Salinópolis tem seu encontro com o mar, como o Urindeua.

O trecho da costa no qual Salinópolis se insere é conhecido como litoral de Rias Amazônicas, que se estende entre Maranhão e Pará, e é caracterizado pelas reentrâncias compostas por canais, estuários, baías, planícies de maré e manguezais, cuja configuração geológica está associada à transgressão marinha sobre terrenos baixos e à deposição de sedimentos lamosos. Essa condição fisiográfica torna a influência das marés particularmente relevante, pois a água do mar penetra pelos canais e alcança extensas áreas de baixa altitude no interior da planície costeira. Segundo Muehe e Nicolodi (2008), nesse litoral a amplitude (diferença de nível entre a preamar e a baixa-mar) de maré é de 5,5 m, corroborando a estimativa de El-Robrini et al. (2006), que assinalam para o trecho do Salgado Paraense uma amplitude de 5,3 m.

As marés em Salinópolis são semidiurnas e apresentam elevada amplitude. Braga et al. (2019), que realizaram levantamentos específicos para o município acerca da vulnerabilidade diante da ação energética do mar, reportam uma amplitude média de aproximadamente 4,71 m quando estimada pelos dados das Tábuas de Marés da Marinha do Brasil, para o período de 2005 a 2016. Nos meses mais chuvosos, essa média foi de 4,75 m. Já durante as marés de sizígia, associadas às luas nova e cheia, a elevação do nível do mar alcança setores mais altos da costa e atua conjuntamente com ondas e correntes marinhas.

Marés equinociais e as áreas inundáveis da baixada

A região é bastante influenciada por marés equinociais (março-abril e setembro-outubro), período no qual o alinhamento entre o sol, a lua e a terra é maior. No equinócio de outono, o aumento de amplitude nas marés de sizígia coincide com a alta pluviosidade, combinação que tem gerado episódios de inundação nas áreas mais baixas da cidade de Salinópolis. Veículos locais frequentemente noticiam registros da maré invadindo ruas e casas[12], destacando que certas combinações entre chuvas fortes, marés altas e condições do mar fazem com que o nível da maré seja de quase 6 metros.

[11] Estação meteorológica de Salinópolis (código nº 47002), componente da rede meteorológica nacional organizada no portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). Disponível em link.

[12] *Maré sobe e invade ruas e casas em Salinópolis*. Portal do Sal. 28 de out. 2011. Disponível em link.
Maré alta causa transtornos em residências e estabelecimentos de Salinópolis. G1 PARÁ. 21 de fev. 2019. Disp. em link.
Ondas causadas pela maré alta castigam a costa de Salinópolis. O Liberal.com. 23 de março 2019. Disponível em link.
Salinópolis enfrenta alagamentos no início do Verão Amazônico. Giro Salinas. 06 de julho 2025. Disponível em link.

Caldeira et al. (2023) utilizaram de dados fotogramétricos para identificar áreas sujeitas a inundação na área da baixada de Salinópolis, demonstrando que grande parte das moradias são localizadas em cotas iguais ou inferiores a 3,5 m, influenciada pela união da bacia hidrográfica do rio Urindeua com o oceano Atlântico. Segundo as simulações dos autores, diversas das áreas inundáveis ocorrem no interior dos bairros e não na margem litorânea, padrão associado à ocupação inadequada de áreas de manguezal. Como referência empírica, o estudo toma a cheia de 20 e 21 de fevereiro de 2019, quando, conforme tábuas de maré da Marinha do Brasil, a maré atingiu o pico de 5,5 m na noite do dia 20, evento apresentado como demonstração de que a área sofre influência direta das cheias do rio Urindeua e do mar.

Os achados de Caldeira et al. (2023) corroboram os registros feitos em 2016 pela inspeção em Salinópolis do Serviço Geológico do Brasil (CPRM, 2016) quando do mapeamento, descrição e classificação de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes no país[13]. Essa ação, padronizada para o território nacional, foi estruturada em três etapas: (i) levantamento prévio de informações geológicas, histórico de desastres e contato com a Defesa Civil Municipal; (ii) atividades de campo, guiadas pela Defesa Civil local, nas quais são verificados indícios de instabilidade e, especificamente para enchentes e inundações, a frequência de eventos nos últimos cinco anos relatada por moradores e pela Defesa Civil; e a (iii) consolidação dos dados em "pranchas" para cada um dos setores de risco, identificadas por código único e contendo o bairro, coordenadas, tipologia do processo, número de construções e habitantes afetados, sugestões de intervenção e o grau de risco atribuído.

Em Salinópolis, esse esforço identificou dois setores de alto risco para enchentes, ambos correspondentes à planície de maré do Rio Urindeua que outrora era coberta por manguezais: o que abrange parte dos bairros Guarani e Prainha; e o que abrange parte do bairro João Paulo II. A ocupação do mangue se deu, em grande parte, em áreas de cotas abaixo de 3,5 m, sendo que a elevação do nível do rio decorrente da associação entre a maré e chuva, torna-se um dos fatores para o surgimento das ocorrências de enchentes.

Tipologias de eventos hidrológicos

Importante destacar que o termo 'enchente' está sendo usado de forma a englobar a ocorrência de fenômenos naturais hidrológicos distintos, conforme a Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade)[14] (Tabela 2, abaixo). Embora não constem da Cobrade, os termos 'enchente' e 'cheia' são também frequentemente utilizados para designar a elevação temporária do nível de água dentro de seu leito maior de drenagem.

Enquanto as inundações e as enxurradas decorrem do comportamento dos cursos d'água em função de chuvas intensas, os alagamentos decorrem da extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana. Os três estão interligados e, a rigor, um evento extremo de precipitação pode causar em uma única bacia hidrográfica episódios de enxurrada, alagamento e inundação. Geralmente, a posição

[13] Atendendo à Lei nº 12.608/2012, que atribui à União o dever de apoiar municípios no mapeamento de áreas de risco.
[14] Classificação elaborada a partir do Banco de Dados Internacional de Desastres (EM-DAT) do Centro para Pesquisa sobre Epidemiologia de Desastres (CRED) e da Organização Mundial de Saúde (OMS/ONU), com o propósito de adequar a classificação brasileira às normas internacionais. Disponível em link.

relativa das cidades em função da bacia hidrográfica e das características de seu exutório determina os perigos mais comuns. Cidades em regiões de cabeceira das bacias hidrográficas são mais vulneráveis a enxurradas; cidades em trechos baixos são mais suscetíveis a inundações.

Tabela 2 - Descrição de eventos naturais hidrológicos

Evento	Descrição
Enxurrada	Escoamento superficial de alta velocidade e energia, provocado por chuvas intensas e concentradas, normalmente em pequenas bacias de relevo acidentado, caracterizada pela elevação súbita das vazões de determinada drenagem e transbordamento brusco da calha fluvial e com grande poder destrutivo.
Inundação	Submersão de áreas fora dos limites normais de um curso de água em zonas que normalmente não se encontram submersas, com transbordamento de modo gradual, geralmente ocasionado por chuvas prolongadas em áreas de planície.
Alagamento	Extrapolação da capacidade de escoamento de sistemas de drenagem urbana e consequente acúmulo de água em ruas, calçadas ou outras infraestruturas urbanas, em decorrência de precipitações intensas.

Fonte: Classificação e Codificação Brasileira de Desastres (Cobrade).

Em Salinópolis, os eventos de inundação e alagamento geralmente estão sobrepostos devido à influência da maré na capacidade de escoamento do Rio Urindeua. Ambos os setores com risco a enchentes foram classificados como 'risco alto', ou seja, apresentando alto potencial de danos e registro de uma ocorrência significativa nos últimos 5 anos, envolvendo moradias de alta vulnerabilidade. Nota-se que o 'risco' expressa a relação entre a probabilidade de ocorrência de uma dada ameaça[15] (exógena), e a magnitude de danos ou consequência sociais e/ou econômicas sobre o sistema, elemento, grupo ou comunidade a ele exposto. A ocorrência de um desastre, então, se dá na interface entre a materialização da ameaça com os graus de exposição[16] e vulnerabilidade[17] locais àquela ameaça.

Classificação e caracterização dos setores de risco

No exercício de abrangência nacional realizado por CPRM (2016), seguiu-se os critérios adaptados de IPT (Brasil e IPT, 2007) para a classificação de risco de enchentes, replicados na tabela abaixo. Observa-se que a diferença entre os graus alto e muito alto não está na magnitude física do dano potencial, mas sim na frequência de recorrência dos eventos (na sua probabilidade de ocorrência). A associação da ocorrência do evento com moradias de alta vulnerabilidade socioeconômica, por sua vez, torna-se uma forma de representar a vulnerabilidade dos sistemas de interesse, pois estes detêm, de forma intrínseca, menor capacidade de adaptação.

[15] Ameaça é a ocorrência potencial de um evento ou tendência física natural ou induzida pelo homem que pode causar perda de vidas, ferimentos ou outros impactos à saúde, bem como danos e perdas à propriedade, infraestrutura, meios de subsistência, prestação de serviços, ecossistemas e recursos ambientais (ex. aumento do nível do mar, chuva forte, enchentes e secas) (IPCC, 2022).
[16] Exposição é a presença de pessoas, meios de subsistência, espécies ou ecossistemas, funções, serviços e recursos ambientais, infraestrutura ou bens econômicos, sociais ou culturais, em lugares e configurações que podem ser afetados negativamente pela mudança do clima. (IPCC, 2022).
[17] Vulnerabilidade é a propensão ou predisposição a ser adversamente afetado pela ameaça exógena. A vulnerabilidade engloba uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos e falta de capacidade para lidar e se adaptar aos efeitos adversos da mudança do clima (IPCC, 2022).

Tabela 3 - Classificação de risco de inundações adotada por CPRM (2016)

Grau de risco	Critérios
R1 Baixo	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com baixo potencial de causar danos. Baixa frequência de ocorrência (sem registros de ocorrências nos últimos cinco anos).
R2 Médio	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com médio potencial de causar danos. Média frequência de ocorrência (registro de uma ocorrência significativa nos últimos cinco anos).
R3 Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos. Média frequência de ocorrência (registro de uma ocorrência significativa nos últimos cinco anos) e envolvendo moradias de alta vulnerabilidade socioeconômica.
R4 Muito Alto	Drenagem ou compartimentos de drenagem sujeitos a processos com alto potencial de causar danos. Alta frequência de ocorrência (pelo menos três eventos significativos em cinco anos) e envolvendo moradias com alta vulnerabilidade socioeconômica.

Fonte: adaptado de Brasil e IPT (2007).

Segundo CPRM (2016), os setores de alto risco à enchente, tanto o que abrange parte dos bairros Guarani e Prainha, como o que abrange parte do bairro João Paulo II, são caracterizados originalmente por uma área plana de floresta de mangue, que naturalmente sofre inundação e não deveria, portanto, ser ocupada. Os técnicos observaram casas em palafitas que foram construídas acima do nível médio das inundações. Entretanto, foi relatado por moradores que em meados de abril de 2016 o nível da inundação atingiu as casas com lâmina de cerca de 0,20 m. A maré neste mês, conforme CPRM (2016), atingiu mais de 5 metros. A ocorrência das enchentes gera danos materiais e interrupções nos serviços públicos e privados dos locais afetados, mas tipicamente não configuram situações de emergência ou de calamidade.

2.2. Valoração da perda de serviços ecossistêmicos

2.2.1. Abordagem e base de estimação

Lógica invertida das perdas evitadas

Quando se considera a implementação de uma Solução baseada na Natureza que almeja reduzir as perdas associadas a uma determinada ameaça climática, utiliza-se da lógica dos danos evitados para constatar sua viabilidade. Ou seja, parte-se um cenário atual de dano (inundações recorrentes, no caso de Salinópolis) e modela-se quanto desse dano seria evitado pela implementação futura de infraestrutura natural. Em Salinópolis, a mesma lógica foi utilizada de forma invertida, porque o manguezal historicamente suprimido deixou de prestar seus serviços de proteção costeira. O que se busca, portanto, é a avaliação do dano que passou a ocorrer pela ausência de uma barreira natural que antes existia.

Nesse sentido, o exercício analítico consistiu em reconstruir, retrospectivamente, qual foi o dano associado às enchentes na área que antes era ocupada pelo manguezal, permitindo associar esse dano ao benefício que estaria sendo prestado caso a infraestrutura natural ainda existisse. As perdas recorrentes se tornam, assim, uma aproximação direta do serviço ecossistêmico de mitigação de inundação que o manguezal deixou de prestar. Trata-se da aplicação do método de valoração baseada em custos.

Importante destacar que o termo 'perda' engloba a ocorrência de danos e prejuízos (públicos e privados).

- Danos (materiais) se referem às danificações em habitações, veículos, infraestrutura e em instalações públicas e privadas, geralmente apresentadas em número de registros (ex. cinquenta casas afetadas).
- Prejuízos (imateriais) referem-se às atividades que deixaram de ocorrer, tanto no âmbito público (geralmente pela interrupção de serviços essenciais, como assistência médica, saúde pública, atendimento de emergências médicas; abastecimento de água potável, drenagem de águas pluviais, sistema de esgotos sanitários, limpeza pública, coleta e destinação de resíduos sólidos; controle de pragas e vetores; geração e distribuição de energia elétrica; telecomunicações; transportes locais, intermunicipais e interestaduais; distribuição de combustíveis; segurança pública; e ensino); quanto no privado (imposição de interrupção às atividades econômicas agropecuárias, industriais e de serviços).

É pertinente avaliar, dessa forma, tanto os danos (materiais) quanto os prejuízos (atividades econômicas cessantes). Os danos, por serem materiais, trazem uma forma de mensuração correlacionada ao desdobramento físico da inundação, qual seja, a elevação do nível de água.

Uma vez que se trata de uma avaliação de perda de serviços ecossistêmicos retrospectiva (ex-post), torna-se pertinente compreender o histórico de ocupação da área de manguezal. As duas manchas de inundação levantadas por CPRM (2016), que representam as áreas de baixada que outrora eram cobertas por mangue, somam 41,52 ha, sendo 21,34 ha correspondente à fração dos bairros Guarani e Prainha, e os demais 20,18 ha em partes do bairro João Paulo II.

Sobrepondo as manchas aos levantamentos de cobertura e uso do solo no Brasil a partir de MapBiomas[18], foi possível retroceder até o ano de 1985, no qual já se observa cerca de 40% de ocupação urbana. De forma a manter o período histórico limitado em 30 anos, contabilizou-se a ocupação a partir de 1996, ano em que havia cerca de 45% de ocupação antrópica. O ritmo de ocupação da área cresceu em 2,42% ao ano até 2004, ano no qual as áreas antropizadas representaram 57% da área. De 2004 ao ano de 2014, o ritmo de crescimento da área urbana foi praticamente mantido (2,34%). Apenas no intervalo decadal mais recente (entre 2014 e 2024) é que a taxa de ocupação se refreou para 0,76% ao ano. Atualmente, 78% da área é antropicamente ocupada, restando 22% de cobertura vegetal.

[18] MAPBIOMAS - Coleção 10 de Cobertura e Uso da Terra. Disponível em link.

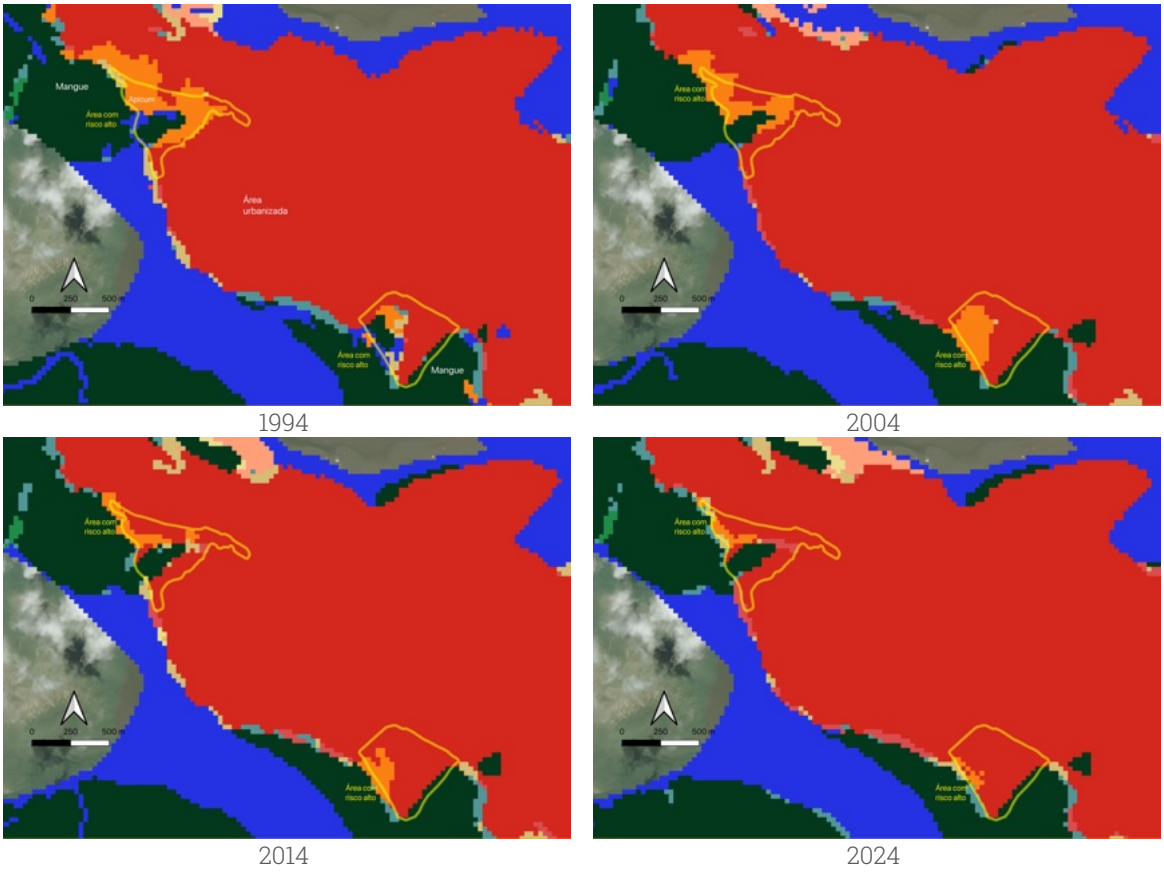


Figura 2 - Cobertura e uso da terra em Salinópolis ao longo de quatro décadas

Curva de probabilidade de excedência de perdas

Embora os episódios históricos de enchentes em Salinópolis permitam concluir que deles decorrem perdas econômicas, inexistem registros desses valores ou da quantidade material de dano incorrido. Essa ausência de informações é corriqueira para desastres que ocorrem com bastante frequência, porém acarretam baixa intensidade (ou magnitude), especialmente quando se localizam em áreas periféricas de municípios de menor porte. Afinal, eventos assim não configuram situação de emergência ou estado de calamidade pública que requereriam a submissão de formulário de reconhecimento Federal para a liberação de recursos e autorização de dispêndios emergenciais.

Quanto mais frequentes as ameaças, geralmente menores os danos associados, e vice-versa. Afinal, eventos que ocorrem com um período de retorno de 2 anos (ou seja, com 50% de probabilidade de ocorrer a cada um dos dois anos) não deve - a priori - incutir danos e prejuízos da mesma forma que ocorreria no caso de um evento com período de retorno de 1.000 anos (cuja probabilidade anual de ocorrência é de 0,1%). Não obstante, a somatória de perdas recorrentes ao longo de muitos anos pode ser muito significativa, notadamente quando a população que incorre as perdas é socioeconomicamente vulnerável, como no caso de Salinópolis.

Embora não seja possível reconstruir a série histórica de perdas incorridas nos bairros de Guarani, Prainha e João Paulo II em decorrência das enchentes, pode-se estimá-la de forma probabilística. Afinal, em sendo as perdas que ocorrem sob a mancha de inundação uma função da frequência e intensidade de eventos, a associação desses dois

elementos permite construir o que se denomina de curva de probabilidade de excedência de perdas (Brasil, 2022b; Brasil e GIZ, 2022). Trata-se do estabelecimento da relação entre a magnitude dos impactos (expressos em valor monetário) e sua probabilidade de ocorrência (representada por eventos conhecidos e seus tempos de retorno).

O primeiro passo na construção da curva de probabilidade de excedência de perdas de enchentes nas áreas que eram ocupadas por manguezais, na baixada de Salinópolis, é a associação de eventos pretéritos com seus períodos de retorno (ou tempos de retorno). Trata-se da estimativa do intervalo de tempo médio entre as ocorrências de um evento de tamanho ou intensidade definidos, obtido a partir da observação da série histórica. Em Salinópolis, a série histórica de registros pluviométricos da estação nº 47002, tem passo diário e cobre 49 anos (desde 1977) de dados, o que permite calcular os tempos de retorno de eventos de precipitação. A ocorrência de uma precipitação diária de 112 mm, por exemplo, ocorreu 0,4% do tempo, o que indica um período de retorno de 250 anos (TR250). Já uma precipitação de 29 mm/dia tem recorrência de 10 anos (TR10).

O evento de precipitação intensa que ocorreu em 12 de abril de 2016, combinado com a maré alta e condições adversas de mar, gerou inundação nos bairros de interesse e fundamentou a classificação de risco alto da CPRM (2016). Na ocasião, foram registrados 52 mm/dia, o que é associado a TR25. Outro desses eventos, que ocorreu em 20 de fevereiro de 2019 e serviu de referência empírica para os levantamentos de risco de inundação de Caldeira et al. (2023), tem TR50, com 72 mm/dia.

Mesmo sabendo-se que, devido à combinação entre a pluviosidade e a amplitude das marés, a utilização da série histórica de precipitação não é suficiente, per se, para desvendar a quantidade de eventos específicos de inundação, tem-se nela uma importante âncora para aplicar a estimativa probabilística das perdas históricas ocorridas. A consulta aos dados pluviométricos, assim, permite associar o evento de enchente registrado por CPRM (2016) ao tempo de retorno de cerca de 25 anos (TR25), enquanto o analisado por Caldeira et al. (2023), ao tempo de retorno de cerca de 50 anos (TR50).

Para o evento de 2016, sabe-se que a lâmina de inundação efetiva que causou perdas foi de cerca de 0,20 m, pois embora a cota de inundação tenha sido mais elevada, as residências localizadas sob a mancha são, no mais das vezes, construídas em palafitas (CPRM, 2016). Já para o evento de 2019, não se tem registro de lâmina d'água efetiva, embora o evento tenha sido de magnitude superior ao de 2016 (Caldeira et al., 2023). Dada a localização costeira da área de estudo, aliado ao fato que as inundações são vinculadas às condições de maré, não apenas precipitação (portanto, não devem ter maior propagação), conclui-se que eventos mais severos que os de 2016 não devem se traduzir em cotas de inundação muito superiores. Dessa forma, assume-se conservadoramente que o episódio associado à TR50 tem uma cota 10% superior à do evento registrado em 2016 (ou seja, 0,22 m). Sob o mesmo racional, assume-se que a cota vinculada à um TR100 é majorada em outros 10% (0,24 m).

2.2.2. Estimativa das perdas

Funções de dano por lâmina d'água

Na composição da curva de probabilidade de excedência de perdas, as cotas de inundação e seus tempos de retorno definem a abscissa, restando associar os danos

econômicos que perfazem a coordenada. Comumente, a determinação de danos materiais diretamente incutidos por episódios de inundação é feita por meio de funções de dano, ou seja, novas curvas, mas dessa vez associando a profundidade da inundação (o quanto a lâmina d'água sobe) e o dano material por ela causada. Não há, nesse caso, a associação aos tempos de retorno, mas sim aos níveis de inundação que indicam o dano incorrido para cada nível de água. Afinal, é evidente que uma lâmina de 0,05 metros causa um dano inferior a uma de 0,50 metros, mas essa associação varia pelo tipo de ativo e pelas características socioeconômicas destes. Estas curvas, no entanto, não se fazem disponíveis para a região de estudo, tampouco para o estado do Pará ou mesmo para o Brasil.

Nesse contexto, adotou-se parâmetro do estudo de Huizinga et al. (2017), desenvolvido para a Comissão Europeia, que estabeleceu metodologia e banco de dados de funções de danos materiais de inundação para auxiliar na avaliação e gerenciamento de riscos em uma base global. Os autores apresentam funções de danos padronizadas para a elevação do nível da água em metros, derivadas de informações de inundação e de dados socioeconômicos em ampla consulta e representatividade[19]. Com base nesse estudo, pode-se obter as funções padronizadas de dano material por metro de lâmina d'água em casos típicos na América do Sul para edificações residenciais, comerciais e industriais, além de infraestrutura viária (estradas e rodovias), como demonstra a figura abaixo.

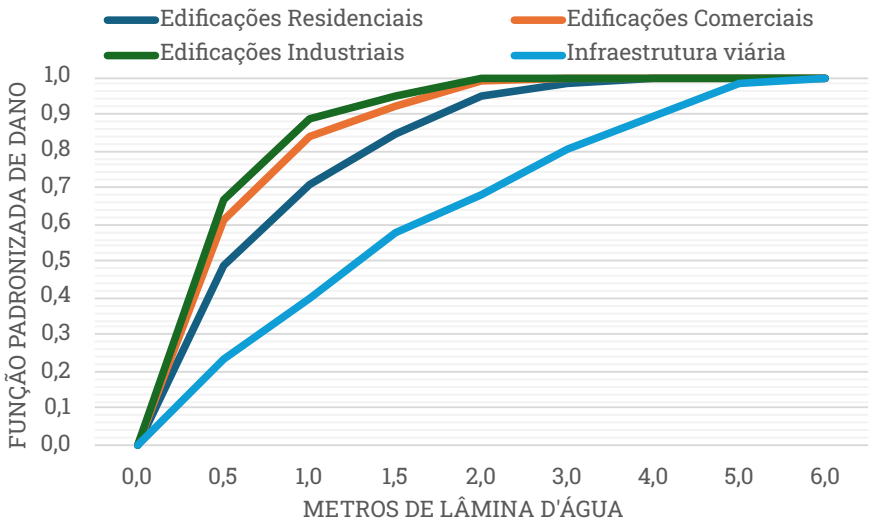


Figura 3 - Função do dano para diferentes tipologias na América do Sul (Huizinga et al. 2017)

Observa-se que meio metro de lâmina d'água é suficiente para imputar cerca de 50% dos danos máximos causados para as edificações residenciais. Na prática, isso representa o dano causado em instalações elétricas e hidráulicas, móveis e eletrodomésticos, além de acabamentos. No caso de edificações de comércio e indústria, esse mesmo

[19] O principal resultado do estudo é um banco de dados global com curvas de dano fracionário em função da lâmina d'água, valores máximos de dano por país ou região e orientações para ajustes locais, como contexto urbano versus rural e materiais construtivos, pensado tanto para avaliações supranacionais consistentes quanto para países sem modelos próprios. Os valores máximos de dano são baseados em levantamentos de custos de construção realizados por empresas multinacionais, estimados para os diversos países usando regressões estatísticas com indicadores socioeconômicos do *World Development Indicators*. Disponível em link.

nível de inundação gera cerca de 64% do dano máximo, haja vista a maior exposição de equipamentos produtivos (de computadores, impressoras e mobiliário comercial e de serviços até máquinas fabris). Já no caso de infraestrutura viária, os níveis de água devem se elevar significativamente (1,5 metros ou mais) para que ocorram cerca de 60% dos danos máximos. A partir de 3 metros de lâmina d'água, como é de se esperar, o dano infligido é praticamente o máximo para todas as categorias, o que significa que, se um ativo tem um dado valor econômico, houve seu pleno comprometimento.

Uma outra classe de ativos em risco em situações de inundação é a de veículos, que também estão expostos e se danificam mecanicamente em função da exposição à água. Destaca-se, para estes, um estudo empírico do U.S. Army Corps of Engineers (USACE, 2009) que apresenta relações profundidade-dano para diversos tipos de veículos (sedãs, picapes, utilitários esportivos, esportivos e minivans). As funções foram ajustadas a partir de informações primárias coletadas após eventos de inundação em dez comunidades norte-americanas, totalizando uma amostra de 640 veículos.

Utilizou-se, para a transposição ao caso brasileiro, a função da relação profundidade-dano para automóveis do tipo sedã. Essa escolha espelha, dentre os tipos amostrados, a maior proximidade funcional com os veículos de passeio da frota brasileira; ademais, é a tipologia que contou com a maior representatividade na amostra (369 observações).

Com base nas funções padronizadas de danos de Huizinga et al. (2017) e USACE (2009), foi possível ajustar regressões logarítmicas (selecionada por apresentar o maior coeficiente de determinação entre as especificações testadas) cuja equação estimada foi então aplicada às profundidades de inundação observadas em Salinópolis para os diferentes tempos de retorno. Obtêm-se, ao fim, a fração dos ativos expostos que são danificados a cada nível de lâmina d'água para cada TR.

Ativos expostos: edificações e veículos

Resta, finalmente, estimar o valor dos ativos materiais sob risco. A partir das características socioeconômicas dos bairros sob as manchas de inundação em Salinópolis, entende-se que os ativos expostos são as construções residenciais e os veículos, não sendo pertinente considerar construções comerciais e industriais, tampouco infraestrutura viária.

A atribuição de valor de imóveis residenciais pode ser realizada com o indicador unitário por área construída (R$/m^2) Custo Unitário Básico da Construção (CUB), calculado para estimar o custo de empreendimentos-padrão, servindo como referência para orçamentos, análises de viabilidade e atualização de custos no setor da construção civil[20].

Muito embora o CUB expresse os valores referentes a construções novas, o que não é o caso para a grande maioria das residências expostas ao dano por inundação em Salinópolis, seu uso complementa o valor dos móveis, eletrodomésticos e outros elementos não adicionados separadamente. Assim, consultou-se o CUB para o estado do Pará na data-base de dezembro de 2025 para o tipo R-1 (residência unifamiliar de um pavimento) de baixo padrão de acabamento, cujo valor é de R$ 2.269,20/m^2.

[20] A apuração do CUB segue a Lei nº 4.591/1964 e a NBR 12.721:2006 da ABNT. Seu cálculo não inclui itens como fundações especiais, elevadores, projetos, taxas e remuneração de construtor e incorporador. Disponível em link.

Dado o nível de precariedade de diversas das habitações na área de estudo, entende-se que o valor do CUB, mesmo quando considerado pelo de baixo padrão construtivo, se distancia das tipologias efetivamente analisadas. Poder-se-ia, para contornar essa fragilidade da modelagem, adotar um redutor arbitrário; não obstante, uma vez que o propósito da mensuração dos serviços ecossistêmicos é expressar os benefícios para a sociedade de forma em geral, entende-se que o CUB representa a proteção dos manguezais para além do valor estrito das residências de baixa renda que em suas áreas originais encontram sua única opção de moradia. Dessa forma, a manutenção do parâmetro de valor, sem redução, reflete essa escolha metodológica.

Quanto à quantidade de imóveis e as respectivas áreas construídas, adotou-se o procedimento descrito a seguir. Primeiramente, estimou-se a quantidade e a área ocupada por edificações sob as manchas de inundação, fazendo uso das feições vetoriais correspondentes às edificações dos dados geoespaciais do OpenStreetMap, complementados manualmente a partir de comparação visual com a imagem recente de satélite como referência (Google Earth), de modo a garantir maior completude do conjunto de dados na área de estudo. Foram assim identificadas 894 edificações cobrindo um total de 126.059 m^2 (o que resulta em uma média de 141 m^2 por edificação).



Figura 4 - Edificações sob área de alto risco de inundação em Salinópolis

Em 2016, CPRM havia estimado um total de 575 edificações, o que destaca o adensamento que ocorreu na região afetada, principalmente no bairro João Paulo II. Com esses dois subsídios temporais, realizou-se a extrapolação linear para a quantidade de habitações entre 2024 e 2015. Já de 2016 até 1996, completando assim os 30 anos pretéritos a partir do ano base de 2025, a quantidade de edificações foi estimada com base nas

taxas de avanço da mancha urbana sobre os manguezais, já descritas no início desse item. Essa mecânica resultou em uma estimativa de 357 edificações no ano de 1996. Mantendo-se fixa a área construída por edificação, desvenda-se também a metragem, ano a ano, que é aplicada à curva de probabilidade de excedência de danos.

Mecânica similar foi adotada para os veículos, mas não sem antes fatorar que, diferente dos bens imóveis, os veículos são bens móveis que podem ser movidos da área de inundação, deixando assim de estarem expostos. Segundo USACE (2009), 88% das pessoas alertadas da possível ocorrência do evento de inundação com mais de 12 horas de antecedência reportou ter movido seu veículo para uma área mais alta; já com um alerta menor, de até 6 horas, 51% reportaram ter movido seu veículo. Esses resultados oferecem balizadores relacionados à capacidade de remoção preventiva, podendo-se arbitrar que 15% dos veículos existentes na área de inundação são expostos ao risco.

Resta desvendar tanto a quantidade como o valor dos veículos sob a mancha de inundação em Salinópolis. Para o primeiro ponto, recorreu-se aos dados da Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN), vinculada ao Ministério dos Transportes, que reporta via portal Cidades do IBGE[21] a quantidade de automóveis e motocicletas registrados em cada município brasileiro. Em Salinópolis, são 3.300 automóveis e 7.950 motocicletas, o que resulta em uma taxa per capita de respectivos 0,0741 e 0,1785. Pode-se, então, aplicar as taxas para a população estimada sob a mancha de inundação.

A estimativa populacional, por sua vez, é realizada a partir da densidade habitacional (3,3 moradores por domicílio) revelada pelo Censo de 2022 e a quantidade de edificações, resultando em 2.954 habitantes. Para as extrapolações pretéritas, utilizou-se da mesma densidade habitacional e multiplicou-se, ano a ano, pela quantidade de edificações. Com essa mecânica, estima-se ter havido 1.900 habitantes em 2016 e 1.180 em 1996. Retomando-se a estimativa da quantidade de veículos, atualmente deve haver cerca de 219 automóveis e 527 motocicletas sob a mancha de inundação, pressupondo-se ainda que 15% desse estoque esteja exposto a esse risco.

Para estimar um valor unitário de automóveis e motocicletas que seja representativo das respectivas frotas, e dada a ausência desse tipo de informação em bases públicas, adotou-se a metodologia de definição de veículos-referência. Partiu, então, de duas premissas: a idade média da frota circulante no país e a difusão dos modelos no mercado nacional. Com base no levantamento do Sindipeças para 2024[22], a idade média da frota de automóveis é de 11 anos e 2 meses, e a de motocicletas de 8 anos. Uma vez que o ano-base da análise é 2025, esses parâmetros que conduzem, aproximadamente, a um automóvel representativo de 2014 e a uma motocicleta de 2018.

Como automóvel representativo da frota de passeio, adota-se o Chevrolet Onix 1.0 (ano 2014), devido à ampla inserção no mercado brasileiro, além de ser um modelo que evita usos e preços específicos, como picapes ou veículos comerciais leves. Com base na Tabela Fipe[23], o valor monetário desse modelo, que por sua vez expressa o preço médio de revenda à vista ao consumidor da frota de veículos de passeio, é de R$ 41.108,00. Para motocicletas, adota-se a Honda CG 160, que além de ter grande representatividade, é de

[21] Disponível em link.
[22] Relatório da frota circulante, edição 2024. Sindipeças e Abipeças, 2025. Disponível em link.
[23] Preço médio de veículos. Tabela Fipe. Disponível em link.

baixa cilindrada e voltada ao uso cotidiano, reduzindo o risco de representar a frota por uma moto de maior cilindrada, preço elevado ou uso de nicho. A Tabela Fipe para esse veículo representativo é de R$ 12.447,00. A multiplicação da quantidade de veículos expostos na área de inundação e seus valores de mercado representativos retorna um total de R$ 2,33 milhões no ano de 2025. Nota-se, por fim, que a função do dano aos veículos é conservadora, haja vista que a lâmina efetiva de 0,20 m desconta a elevação das palafitas, mas os veículos ficam no nível da rua.

Danos materiais estimados

A tabela abaixo apresenta os danos materiais a edificações residenciais e a veículos para cada TR, ao lado do resultado da função padronizada de dano. Trata-se, portanto, da representação tabular da curva de probabilidade de excedência, sendo que a cota referente à TR10 foi ajustada para que a fração do dano pudesse ser zerada, descontando a elevação das palafitas. Finalmente, calcula-se o valor anualizado dos danos, ou seja, o que se espera materializar em qualquer ano no horizonte retrospectivo de análise. Para tanto, aplica-se o método simplificado de Olsen et al. (2015), no qual o valor anualizado é dado pela somatória da multiplicação das médias das perdas monetárias previstas no $evento_i$ e no $evento_{i-1}$ pela diferença na probabilidade de excedência entre estes mesmos anos. Nota-se que a curva foi truncada na TR100.

Tabela 4 - Danos materiais em eventos de inundação em Salinópolis

TR	Cota efetiva (metros)	Danos materiais a edificações residenciais		Danos materiais a veículos	
		Fração de dano	Valor corresp. (R$/m²)	Fração de dano	Valor corresp. (mil R$)
TR10	0,13	0,0000	0,00	0,1174	273,97
TR25	0,20	0,1197	271,67	0,1867	435,60
TR50	0,22	0,1490	338,16	0,2053	479,16
TR100	0,24	0,1804	409,46	0,2259	527,08

Para as edificações, o valor anualizado do dano foi de R$ 17,99 por metro quadrado (ou seja, R$ 2,54 mil por residência), o que resultou em um valor total atual (2025) de R$ 2,27 milhões, refletindo de forma direta a área construída. Esse valor representa o dano material probabilístico de um ano qualquer, derivado da combinação entre os danos baixos de eventos mais frequentes e de danos mais elevados de eventos de menor frequência. Uma outra forma de interpretar o resultado é que cada residência na baixada de Salinópolis espera perder R$ 2,54 mil por ano devido à falta de proteção do manguezal.

Nota-se que apenas eventos de TR igual ou superior a 25 anos geram danos às edificações, conforme as observações in loco de CPRM (2016). Uma vez que o valor anualizado foi calculado por m² com preços de 2025, pode-se aplicá-lo para os anos pretéritos em função da área construída, obtendo-se assim a série histórica de danos materiais às edificações residenciais.

Já para os veículos, o valor anualizado do dano é de R$ 90,26 mil. De forma a reconstruir o histórico de danos aos veículos, aplicou-se a mecânica simplificada de atribuição da

fração que representa atualmente (2025) dos danos materiais aos edifícios (que é de 3,98%). Tomando 2016 como exemplo, tem-se um dano probabilístico às residências de R$ 1,46 milhão, e um dano aos veículos de 3,98% desse valor (ou seja, de R$ 58,05 mil).

Prejuízos públicos e privados

Prossegue-se, doravante, para a valoração dos prejuízos (imateriais) decorrentes das atividades econômicas cessantes pelos eventos adversos. Os prejuízos se subdividem em públicos e privados. Os públicos decorrem tanto das respostas às emergências, tais como a mobilização da Defesa Civil, disponibilização de cuidados médicos, auxílios emergenciais, abrigos e outros, como no reparo e restituição de serviços básicos como educação e transportes. Já os privados se materializam no desvio das atividades cotidianas para atender às edificações danificadas. Infelizmente, não existem funções equivalentes às dos danos materiais, a exemplo de uma função profundidade-duração das interrupções de serviços públicos ou mesmo de prejuízos privados, como por exemplo: 0,20 m ≈ 5 dias de inatividade.

O Hazus Flood Model[24], desenvolvido para estimar danos ao estoque geral de edificações (como Huizinga et al., 2017), também estima perdas econômicas diretas, necessidades de abrigo emergencial e volume de entulho gerado por inundações ribeirinhas e costeiras. O modelo apresenta tabelas de tempo máximo de restauração (em dias), diferenciadas por classe de ocupação e por faixa de profundidade de inundação. Embora essa possa parecer a função de dano almejada para considerar os prejuízos, tem-se que o tempo de reparação serve de proxy para o valor do dano material, e não para representar o prejuízo por atividades cessantes.

Endendijk et al. (2024), por sua vez, investigaram os efeitos de diferentes níveis de inundações na duração da interrupção de negócios nos Países Baixos, encontrando uma relação praticamente linear entre profundidade e dias de interrupção, pela qual cada centímetro adicional de inundação no piso do imóvel está associado a 0,14 a 0,18 dias adicionais de interrupção (aproximadamente 4 horas por centímetro). Os modelos ajustados explicaram entre 42% e 51% da variação na duração de interrupção, um ajuste relativamente bom para dados utilizados de *survey* em escala de firma. Embora interessantes, os resultados não são relevantes para o caso de Salinópolis, haja vista a ausência de firmas expostas à inundação.

De forma a endereçar a dificuldade intrínseca de estimar prejuízos, que são mais sensíveis às condições locais do que os danos materiais, a prática internacional utiliza de relações percentuais com o próprio dano material. De acordo com Hammond et al. (2014), no Reino Unido os custos de emergência são assumidos como sendo 10,7% do dano direto à propriedade. Para prejuízos privados, os mesmos autores apontam para um estudo australiano que adota 30% como taxa padrão de dano indireto sobre o direto, mas sugere ajustar para cerca de 20% em regiões rurais de baixa densidade populacional e para até 45% em centros urbanos com forte componente turístico.

Uma forma de entender a relação entre prejuízos e danos materiais de eventos extremos no Brasil é por meio dos registros do Atlas Digital de Desastres (Brasil, 2026), no qual são compiladas as principais informações sobre os reconhecimentos federais de

[24] FEMA - Federal Emergency Management Agency. Hazus Flood Model - Technical Manual. Disponível em link.

situação de emergência e estado de calamidade pública desde 1991, inclusive os registros monetários de danos materiais e prejuízos públicos e privados.

Do total de 71.929 registros no Atlas de Desastres, considerou-se, para o presente levantamento, os 8.301 referentes a alagamentos e inundações. Embora alagamentos e inundações sejam eventos distintos, ambos foram mantidos na seleção porque podem ser reportados pelos municípios sem a necessária precisão classificatória, o que potencialmente introduz sobreposição entre as categorias. Desses eventos, 3.577 (43%) não reportaram estimativas monetárias de danos ou prejuízos e foram, portanto, desconsiderados na análise dos valores econômicos. Assim, a análise monetária toma como base os 4.724 registros remanescentes (57% do total de registros de alagamentos e inundações). Nesses registros, observam-se perdas totais de R$ 86,49 bilhões, a preços de 2024, correspondentes a R$ 18,31 milhões por registro com informação monetária.

Consultando-se as categorias pormenorizadas que compõem as perdas, divididas entre danos materiais e prejuízos, podem-se extrair relações que servem de base comparativa empírica para os estudos internacionais apresentados anteriormente. Esta análise deve ser interpretada tão somente como razões empíricas descritivas, não como coeficientes causais ou parâmetros automaticamente transferíveis para todos os contextos locais. Os danos materiais, aqui adotados como base de referência para a aplicação das razões de prejuízos, somam R$ 33,89 bilhões e representam 39,2% das perdas totais.

Na base nacional, a categoria de prejuízos públicos tem valor agregado de R$ 9,60 bilhões, o que representa 28,33% do valor dos danos materiais. Diferentemente do referencial do Reino Unido, que considera apenas os custos de ações emergenciais, o Atlas de Desastres categoriza como prejuízos públicos, além dos dispêndios com assistência médica e emergência, os gastos decorrentes de impactos no abastecimento de água, nos sistemas de esgotamento sanitário, nos sistemas de limpeza pública e coleta de resíduos sólidos, na distribuição de energia, nas telecomunicações, na segurança pública e no ensino.

Para estimar os prejuízos públicos no caso dos episódios de inundação em Salinópolis, adotou-se como parâmetro um terço da razão observada no Atlas de Desastres entre prejuízos públicos e danos materiais, isto é, 9,4%. A redução em relação ao parâmetro nacional busca refletir o caráter relativamente menos emergencial dos episódios considerados e a ausência, na área diretamente inundada, de equipamentos públicos como postos de saúde e escolas. Os prejuízos decorrem, portanto, de efeitos deletérios nos demais sistemas, como limpeza pública, coleta de resíduos e abastecimento de água.

Quanto aos prejuízos privados, a análise dos registros com informação monetária do Atlas de Desastres revela que estes compõem a maior fração das perdas totais, equivalente a 49,7%. Em relação aos danos materiais, adotados como base de referência para essa atribuição de valor, os prejuízos privados representam 127%, fração elevada frente à literatura internacional anteriormente discutida.

Nessa categoria, o Atlas contabiliza prejuízos à agricultura e à pecuária, que, em conjunto, representam 20,6% das perdas totais e 41,3% dos prejuízos privados. Na sequência, estão os prejuízos ao comércio, que correspondem a 23,2% das perdas totais e a 46,7% dos prejuízos privados. Os prejuízos nos serviços representam 3,1% das perdas totais e 6,2% dos prejuízos privados, enquanto aqueles associados à indústria correspondem a

2,8% das perdas totais e 5,7% dos prejuízos privados. Considerando-se conjuntamente os prejuízos no comércio e nos serviços, a base nacional indica R$ 0,672 de prejuízos privados para cada R$ 1,00 de danos materiais.

Para estimar os prejuízos privados no caso de Salinópolis, não se considera adequada a aplicação direta da fração observada no Atlas de Desastres. A elevada razão entre prejuízos privados e danos materiais é bastante influenciada pelas perdas na agricultura, pecuária, comércio e indústria, que não representam a configuração socioeconômica local. Nesses locais, predominam usos residenciais, sem exposição de atividades primárias ou industriais, mas tão somente comerciais informais junto às residências. A aplicação de uma fração assim sobre os danos materiais poderia duplicar perdas já capturadas pela valoração das edificações, de seus conteúdos e dos veículos afetados.

Assim, os prejuízos privados foram estimados a partir do custo de oportunidade do tempo despendido pelas pessoas afetadas na limpeza das residências, na reorganização da rotina doméstica, no deslocamento para obtenção de água, alimentos e outros itens essenciais e na solução de pendências decorrentes do evento. Para fins de tal valoração, assume-se, de forma conservadora, a perda equivalente a dois dias de renda por pessoa afetada. O valor diário dessa renda não auferida (aplicando diretamente o conceito de custo de oportunidade que deve sublinhar os exercícios de valoração) é calculado a partir da remuneração média mensal dos trabalhadores formais do município, divulgada pelo IBGE para 2023, de 1,7 salários mínimos. Uma vez que o salário mínimo estadual no ano base de 2025 é de R$ 1.569,50, obtém-se renda média anual de R$ 35.566,44 (considerando 13º e adicional de férias), o que equivale a R$ 97,44 por dia.

Com isso, a perda de dois dias pode ser estimada e multiplicada pela população em cada um dos anos pretéritos, mantendo-se fixo o valor da diária para representar valores constantes de 2025. Evidente que nem todo o contingente populacional sob a mancha de inundação é gerador de renda no sentido restrito, ainda mais como assalariado formal. Mesmo assim, a valoração expressa o prejuízo gerado na cessão das atividades cotidianas de todos os envolvidos para contornar os episódios de enchente, sendo o rendimento do trabalho formal apenas o balizador desse valor. Nota-se que essa opção não mensura todos os efeitos privados das enchentes, mas estabelece uma estimativa objetiva, proporcional à população exposta e compatível com o perfil predominantemente residencial da área de estudo. Diferentemente dos danos materiais, que foram estimados de forma probabilística, os prejuízos privados representam os custos recorrentes associados às inundações frequentes, que mesmo com baixa intensidade e não necessariamente atrelados à danos materiais, interrompem a rotina das famílias. Por essa razão, sua estimativa é tratada como fluxo anual esperado, e não como perda condicionada aos eventos de maior tempo de retorno. Nota-se que o valor encontrado, de R$ 575,69 mil para o ano de 2025, representa 25% dos danos materiais às edificações, coincidindo com as referências australianas sistematizadas por Hammond et al. (2014).

Consolidação das perdas

A Tabela 5 sintetiza a estimativa das perdas econômicas por eventos históricos de enchentes na baixada de Salinópolis, somando-se os danos materiais (edificações e veículos) aos prejuízos públicos e privados decorrentes da interrupção de atividades e serviços. Considerando a evolução da ocupação urbana e do estoque de ativos expostos

sob as manchas de inundação, a perda anual estimada cresce de R$ 1,26 milhão, em 1996, para R$ 3,15 milhões, em 2025, sempre a preços constantes de 2025. Os danos às edificações residenciais constituem a maior parcela do resultado, respondendo por cerca de 72% das perdas totais acumuladas no período; em seguida, em seguida, destacam-se os prejuízos privados, aproximados pelo custo de oportunidade do tempo mobilizado pelas famílias para lidar com os efeitos das enchentes, assim como os danos aos veículos, que complementam a estimativa. A média anual das perdas ao longo dos 30 anos é de R$ 1,92 milhão, enquanto o total acumulado alcança R$ 57,67 milhões.

Tabela 5 - Perdas esperadas em eventos de inundação na baixada de Salinópolis

R$ (preços de 2025)	Perdas (danos e prejuízos)	Danos		Prejuízos	
		Residências	Veículos	Privados	Públicos
Total (30 anos)	**57.668.570**	**41.543.517**	**1.653.858**	**10.547.934**	**3.923.261**
Média anual	**1.922.286**	**1.384.784**	**55.129**	**351.598**	**130.775**
Ano de 2025	3.147.318	2.267.255	90.260	575.689	214.114
Ano de 2016	2.024.292	1.458.246	58.053	370.281	137.713
Ano de 2006	1.598.277	1.151.380	45.837	292.327	108.733
Ano de 1996	1.256.889	905.380	36.043	229.964	85.502

Como a série foi construída integralmente a preços constantes de 2025, os valores anuais são diretamente comparáveis e podem ser somados ao longo do período retrospectivo, sem a necessidade de capitalização ou desconto adicional. O valor acumulado, de R$ 57,67 milhões, representa, portanto, o equivalente retrospectivo da variação do valor social presente líquido (VSPL) associada à supressão progressiva do manguezal: é o valor econômico, no ano-base comum, das perdas que a sociedade passou a incorrer à medida que a infraestrutura natural foi substituída pela ocupação urbana. De forma complementar, a média anual de R$ 1,92 milhão funciona como um indicador de fluxo recorrente de perda, equivalente ao Valor Anual Equivalente (VAE) empregado em análises prospectivas. A ressalva é que não se trata de uma anuidade derivada da conversão de um fluxo futuro a valor presente, mas da média aritmética de perdas probabilísticas já ocorridas ou às quais a população esteve exposta no período observado. Ressalta-se, ainda, que o resultado não constitui valor presente líquido em sentido estrito, pois não foi aplicada taxa de capitalização temporal (conforme discutido no item 1.4).

Esses resultados permitem explicitar o vínculo entre a perda econômica e o serviço ecossistêmico de proteção costeira prestado pelos manguezais. Na condição original, o manguezal constituía uma infraestrutura natural capaz de amortecer a propagação da maré, reter parte do escoamento e reduzir a exposição de pessoas, moradias e demais ativos aos eventos de inundação. Sua conversão não elimina a ameaça hidrometeorológica, associada às marés, às chuvas intensas e à dinâmica do Rio Urindeua, mas aumenta a exposição e a vulnerabilidade dos elementos que passaram a ocupar a planície de maré. As perdas estimadas constituem, assim, uma aproximação monetária do serviço de regulação hídrica e de proteção contra inundações que deixou de ser prestado. Em uma métrica de valor por unidade de área, tem-se, enfim, que os manguezais de Salinópolis agregam um valor de proteção costeira de R$ 46,30 mil/hectare/ano. Trata-

se de uma métrica materializada e localmente calibrada do custo social incorrido pela ausência de sua função de proteção.

2.2.3. Cobenefícios socioambientais

Serviços ecossistêmicos considerados em Salinópolis

Conforme apresentado no item 1.4, os manguezais desempenham funções ecológicas e de proteção costeira que geram benefícios ambientais, sociais e econômicos para as populações e atividades localizadas em sua área de influência. Os manguezais especificamente da região do Salgado Paraense, do qual Salinópolis é parte constituinte, foram objeto de valoração de serviços ecossistêmicos (Gasparinetti et al., 2018). O estudo sistematizou a importância ecológica e econômica deste ecossistema, e com base em revisão de literatura e transferência de benefícios, destacou a provisão de recursos pesqueiros, o sequestro de carbono, a proteção costeira e o turismo como serviços particularmente relevantes para a região. Os autores também identificam a ciclagem de nutrientes e o tratamento de efluentes como funções relevantes dos manguezais, em razão de sua capacidade de reter sedimentos, fósforo, nitrogênio e contaminantes, reduzindo cargas poluentes e contribuindo para a qualidade ambiental de sistemas estuarinos e costeiros - especialmente quando próximas a áreas urbanizadas que não contam com sistema de esgotamento sanitário, como é o caso de Salinópolis.

A publicação de CI (2024) apresenta os seguintes cobenefícios potencialmente atribuíveis aos manguezais: provisão direta de alimentos; regulação da qualidade do ar e do clima; moderação de distúrbios; regulação do fluxo de água (controle da intrusão salina); ciclagem de nutrientes e tratamento de efluentes; prevenção da erosão; manutenção da fertilidade do solo; diversidade genética; qualidade estética; provisão de recursos pesqueiros; e recursos energéticos.

Dentre estes, nota-se que a moderação de distúrbios é o serviço de regulação valorado pelas perdas históricas incorridas desde 1996, pois o manguezal deixou de exercer sua função de amortecer/atenuar a energia de ondas, ventos e ressacas, deixando de reduzir o impacto físico dos eventos extremos. Para complementar o estudo de caso, considerando especificamente os manguezais da baixada de Salinópolis e sua interface com áreas urbanizadas, podem ser considerados como externalidades positivas relevantes:

- A provisão pesqueira, associada ao papel do manguezal como habitat, área de alimentação e berçário para peixes, crustáceos e moluscos, haja vista o histórico do município como importante local de pesca artesanal;
- O controle e a regulação da intrusão salina, relacionado à regulação hidrológica e à proteção das águas superficiais e subterrâneas, inclusive para garantir o abastecimento humano;
- A ciclagem de nutrientes e o tratamento de efluentes, decorrentes da retenção de sedimentos, transformação de nutrientes e filtragem de poluentes, em especial devido à falta de sistema público de coleta, transporte e tratamento de efluentes; e
- A estocagem de carbono, que deixou de ocorrer quando da supressão do manguezal.

Essa seleção reflete a relação funcional entre os manguezais, a dinâmica estuarino-costeira e as pressões e beneficiários presentes no território de Salinópolis.

Em CI (2024), a provisão pesqueira do manguezal tem o valor padronizado de US$ 628/ha/ano, o que se converte em R$ 1.649/ha/ano com base na metodologia abordada no item 1.4. Já o valor de provisão pesqueira estimado por Gasparinetti et al. (2018) para os manguezais da região do Salgado Paraense, cuja data-base é maio de 2016, é de R$ 1.088/ha/ano. Atualizando-se desse valor para 2025 pela variação do IPCA, tem-se R$ 1.815/ha/ano, resultado que traz a mesma ordem de grandeza que a publicação da CI (2024). Dada a pormenorização regional de Gasparinetti et al. (2018), o valor correspondente a esse estudo é o que foi adotado.

Aplicando-se esta última referência para os 32,45 hectares de manguezal que atualmente deixam de cumprir suas funções ecossistêmicas de provisão de recursos pesqueiros na baixada de Salinópolis, tem-se uma perda da ordem de R$ 58,90 mil por ano. A mesma referência de valor unitário (R$/ha/ano) é aplicada retroativamente para as áreas de manguezal suprimidas ao longo dos 30 anos de análise, desvendando um total de R$ 1,48 milhão.

Mecânica similar foi realizada para os serviços ecossistêmicos de controle e regulação da intrusão salina (R$ 6.779/ha/ano) e de ciclagem de nutrientes e tratamento de efluentes (R$ 9.584/ha/ano), ambos valorados pelos parâmetros atualizados para transferência de benefícios do estudo CI (2024). Os resultados totais ao longo dos 30 anos analisados são respectivamente de R$ 5,52 milhões e R$ 7,81 milhões em serviços que deixaram de ser prestados pelos manguezais.

Estocagem de carbono azul e custo social do carbono

Por fim, realiza-se a estimativa da perda do estoque de carbono do manguezal e, na sequência, a atribuição de seu valor econômico. Conforme Jones et al. (2014, apud Gasparinetti et al., 2018), os manguezais armazenam cerca de 147 toneladas de carbono por hectare na porção vegetal acima do solo, e cerca de 446 tC/ha em matéria orgânica no solo (o que representa 1.637,5 tCO_2/ha). Mais recentemente, Bernardino et al. (2024) desenvolveram uma avaliação regional dos estoques de carbono e dos efeitos da conversão de uso da terra em manguezais da Amazônia Legal brasileira, reunindo medições de árvores e aproximadamente 900 amostras de solo, obtidas em mais de 190 parcelas distribuídas por manguezais estuarinos, deltaicos e de costa aberta. O estoque total de carbono do ecossistema foi calculado pela soma da biomassa acima e abaixo do solo, da madeira morta e do carbono orgânico do solo, integrado até 3 m de profundidade ou até o horizonte endurecido. Os resultados corroboraram os de Jones et al. (2014), com uma média de 468,3 ± 67,4 tC/ha, confirmando a elevada relevância desses ecossistemas como reservatórios de carbono azul.

Especificamente para áreas de manguezal convertidas para pastagem e carcinicultura, Bernardino et al. (2024) observaram perda total de biomassa e redução de 71% a 83% do estoque total de carbono, com emissão potencial média de 1.228 ± 146 tCO_2/ha. Muito embora esse último parâmetro tenha sido calculado para conversões outras que as perdas ocasionadas pela urbanização, adota-se como base para a área de estudo em Salinópolis, haja vista não apresentar alto coeficiente de impermeabilização devido ao padrão construtivo típico.

Diferentemente dos demais serviços ecossistêmicos aqui considerados, a estocagem de carbono deve ser considerada apenas para as áreas que são convertidas, pois não se trata de um fluxo contínuo (algo que se deixa de gerar ano a ano, como a provisão pesqueira), mas sim um estoque que é perdido uma única vez. Para fins de simplificação, ao ano de 1996 é alocada toda a supressão de manguezal ocorrida no passado (19,81 ha), perda que é associada à emissão de 24,33 mil tCO_2. A partir de então, apenas as emissões oriundas das áreas suprimidas de um ano a outro são consideradas, como por exemplo os 763 tCO_2 emitidos pelos 0,62 ha desmatados entre 2012 e 2011. Ao longo dos 30 anos, totalizam-se 39,85 mil tCO_2.

Uma vez mensurado o efeito físico, resta atribuir o valor econômico pertinente, que nesse caso é obtido pelo custo social do carbono (CSC). A emissão de GEE, diferentemente dos demais valores considerados (danos materiais, veiculares etc.), sofreu mudança relativa nos 30 anos pretéritos, haja vista o agravamento da crise climática ao longo do tempo. Ou seja, uma tonelada de CO_2 emitida no passado não deve ser associada ao mesmo custo social de uma tonelada emitida na atualidade. Afinal, o CSC expressa em valor presente os gastos que hipoteticamente seriam necessários para compensar os prováveis impactos nocivos das mudanças do clima sobre a sociedade. Caso haja forte controle das emissões no presente, o custo social tende a se reduzir, por exemplo.

A implicação desse racional para a presente valoração é que não se faz possível aplicar o CSC atual para o estoque de carbono perdido no passado, pois isso assumiria que o dano que essa emissão causou desde então é equivalente ao dano projetado atualmente, o que não é verossímil. Dessa forma, as emissões do passado devem ser valoradas pelo CSC à época (Rickels et al., 2023). Eis que inexistem estimativas para o CSC específicas para o Brasil, tanto na atualidade quanto retrospectivamente.

Para contornar essa limitação prática, deve-se estimar tanto o CSC atual quanto pretérito para o contexto nacional. No primeiro caso, torna-se relevante que o Banco Central do Brasil, ao investigar a estabilidade do sistema financeiro nacional, abordou uma análise pioneira acerca do risco climático, utilizando preços de carbono como proxy para custos associados à transição para uma economia de baixo carbono (BCB, 2024). Os custos simulados foram de US$ 50 e 100/tCO_2e, definidos com base em implementações de políticas públicas de taxações em outros países, bem como cenários climáticos realizados internacionalmente, incluindo referências ao Banco Mundial e ao FMI sobre *stress tests* climáticos de países como Colômbia e México. Dada a relevância dessa publicação, adota-se o valor mínimo utilizado pelo BCB, de US$ 50/tCO_2.

Como referência de contexto, tem-se que Tol (2023) calculou uma taxa de crescimento de 2,2% ao ano como média histórica de longo prazo para o CSC, derivada da literatura internacional. O autor parte de um valor-âncora de US$ 190/tCO_2, que reflete os danos climáticos globais projetados recentemente por modelos integrados de avaliação, mas não necessariamente calibrados para os impactos no território brasileiro.

Como contorno, realiza-se a seguinte aplicação: toma-se como base o CSC da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2023). Para uma taxa social de desconto de 2,5% o CSC é estimado em US$ 120/tCO_2 em 2020, subindo progressivamente até 2080 (sendo de US$ 130 em 2025; US$ 140 em 2030; US$ 170 em 2040; US$ 200 em 2050; US$ 230 em 2060; US$ 260 em 2070 e US$ 280 em 2080). Ajustou-se então uma

regressão exponencial (R^2 de 0,9689) para obter a função que permite estimar valores pretéritos. A mecânica assume que a curva futura de modificação no CSC é representativa do movimento que vêm ocorrendo há 30 anos. A estimativa é aplicada ao valor de referência para o CSC nacional para se obter os valores pretéritos.

Com o CSC atual de US$ 50/tCO_2, o valor de 2016 é estimado em US$ 45,33; o de 2006 em US$ 39,09; finalmente, o de 1996 em US$ 33,71. Para os valores em real, utilizou-se da conversão pela paridade do poder de compra (ver item 1.4). A multiplicação do CSC estimado, ano a ano, pelas emissões ocorridas a cada ano, resultam no valor total de R$ 3,72 milhões.

A tabela abaixo apresenta os resultados sintéticos para os intervalos decadais, a média anual nos 30 anos, e o total acumulado ao longo desse mesmo período. O montante total é de R$ 18,53 milhões, sendo que R$ 14,81 milhões correspondem a fluxos recorrentes de serviços ecossistêmicos que deixaram de ser prestados, enquanto R$ 3,72 milhões correspondem à perda pontual de estoque de carbono e suas emissões correlatas. Na média anual, os manguezais suprimidos de Salinópolis deixaram de prestar R$ 617,58 mil em serviços ecossistêmicos. Em termos unitários, isso representa R$ 14,87 mil/ha/ano quando calculado pela área total de análise (41,52 ha) e R$ 19,03 mil/ha/ano quando pela área de manguezal suprimida (32,45 ha).

Tabela 6 - Externalidades geradas pela supressão do manguezal em Salinópolis

R$ (preços de 2025)	Externalidades totais	Perdas de fluxos de SE			Perda de estoque de C
		Provisão pesqueira	Intrusão salina	Cicl. nutri e trat. de efl.	
Total (30 anos)	**18.527.409**	**1.478.362**	**5.521.330**	**7.806.061**	**3.721.655**
Média anual	**617.580**	**49.279**	**184.044**	**260.202**	**124.055**
Ano de 2025	626.519	58.898	219.971	310.995	36.655
Ano de 2016	585.284	55.378	206.824	292.408	30.673
Ano de 2006	532.690	45.576	170.214	240.649	76.251
Ano de 1996	2.457.436	35.962	134.310	189.887	2.097.277

Nota-se ainda que a distribuição temporal dos valores reflete, especialmente em 1996, a atribuição naquele ano de toda a área de manguezal cuja supressão havia ocorrido antes do horizonte retrospectivo adotado (fazendo com que a perda de estoque de carbono alcance R$ 2,10 milhões). Nos períodos posteriores, o componente de carbono reflete apenas as novas áreas convertidas a cada ano, enquanto os serviços de provisão pesqueira, controle da intrusão salina e tratamento de efluentes passam a ser contabilizados como fluxos anuais de benefício que deixaram de ser gerados sobre a área já suprimida.

Em conjunto com as perdas por inundação anteriormente estimadas, as externalidades tornam visível que a conversão do manguezal não produziu apenas uma alteração da paisagem ou um aumento localizado da exposição ao risco. Ela implicou a perda simultânea de funções de proteção, provisão, regulação hídrica e regulação climática, cujos efeitos recaem sobre moradores, atividades produtivas, infraestrutura urbana e sistemas ambientais costeiros. A valoração não pretende esgotar o conjunto de serviços

ecossistêmicos afetados, tampouco atribuir ao manguezal um "preço" total; busca, antes, demonstrar que serviços usualmente ausentes das decisões de ocupação territorial possuem efeitos econômicos reais, cumulativos e socialmente distribuídos.

2.2.4. Sensibilidade dos resultados

Os resultados apresentados dependem de premissas adotadas diante da ausência de registros locais sistemáticos de perdas, de curvas regionais de dano e de séries de frequência conjunta entre precipitação e maré. Para avaliar a robustez das estimativas, então, foram realizados testes univariados, nos quais cada parâmetro é alterado isoladamente, mantendo-se os demais constantes, e testes combinados, que reúnem premissas simultaneamente favoráveis e desfavoráveis ao valor do serviço ecossistêmico.

A variável de maior influência é a frequência atribuída aos eventos com dano, sendo que a associação dos eventos de 2016 e 2019 aos tempos de retorno de 25 e 50 anos, respectivamente, constitui escolha conservadora. O próprio critério de classificação da CPRM (2016) para o risco alto pressupõe uma ocorrência significativa em cinco anos, o que indicaria recorrência substancialmente maior. Caso o evento de referência corresponda a um tempo de retorno de 10 anos, as perdas acumuladas passam de R$ 57,67 milhões para R$ 128,35 milhões; caso corresponda a 5 anos, conforme o critério de risco alto, alcançam R$ 246,15 milhões. No sentido oposto, se o evento de referência tivesse tempo de retorno de 50 anos, as perdas seriam de R$ 34,11 milhões.

A segunda variável mais relevante é a própria lâmina d'água efetiva, pois esse parâmetro atua sobre a parte de maior inclinação das funções de dano. Reduzir a lâmina do evento de referência de 0,20 m para 0,15 m diminui as perdas para R$ 29,94 milhões, enquanto elevá-la para 0,25 m as aumenta para cerca de R$ 83,39 milhões. Já a premissa de acréscimo de 10% na lâmina a cada tempo de retorno superior tem efeito limitado: sem acréscimo, as perdas seriam de R$ 53,39 milhões; com acréscimo de 20% a cada intervalo de TR, subiria para R$ 61,99 milhões. A Tabela 7 apresenta estes e os demais testes descritos na sequência.

Tabela 7 - Testes de sensibilidade das perdas por inundação em Salinópolis

Teste	Perdas em 30 anos	Variação	R$/ha/ano
Cenário central	**R$ 57,67 milhões**	**-**	**46.298**
Evento de referência TR50	R$ 34,11 milhões	-40,9%	27.383
Evento de referência TR10	R$ 128,35 milhões	+122,6%	103.042
Evento de referência TR5, critério R3	R$ 246,15 milhões	+326,8%	197.617
Lâmina de 0,15 m	R$ 29,94 milhões	-48,1%	24.036
Lâmina de 0,25 m	R$ 83,39 milhões	+44,6%	66.947
Desconsiderar 10% de acréscimo entre lâminas de TR50 e TR100	R$ 53,39 milhões	-7,4%	42.863
Premissa de 20% de acréscimo entre lâminas de TR50 e TR100	R$ 61,99 milhões	+7,5%	49.767

CUB com redutor de 30%	R$ 44,03 milhões	-23,7%	35.347
Prejuízo privado de 1 dia	R$ 52,39 milhões	-9,1%	42.064
Prejuízo privado de 4 dias	R$ 68,22 milhões	+18,3%	54.766
Sem prejuízos públicos	R$ 53,75 milhões	-6,8%	43.148
Razão integral do Atlas	R$ 65,52 milhões	+13,6%	52.597
Combinado inferior	R$ 20,09 milhões	-65,2%	16.129
Combinado superior	R$ 162,65 milhões	+182,0%	130.578

Todas as demais premissas têm menor influência. A adoção de um redutor de 30% sobre o CUB, representando a precariedade construtiva das moradias, reduz as perdas em 23,7%, para R$ 44,03 milhões; um redutor de 50% as reduz a R$ 34,94 milhões. Os prejuízos privados variam entre R$ 52,39 milhões e R$ 68,22 milhões quando se consideram, respectivamente, um e quatro dias de renda perdidos por pessoa. A exclusão dos prejuízos públicos reduz as perdas em 6,8%, enquanto a aplicação integral da razão observada no Atlas Digital de Desastres as eleva em 13,6%. A fração de veículos expostos, entre 5% e 30%, produz variações inferiores a 3%.

Entre os cobenefícios, o parâmetro mais sensível é o custo social do carbono. A adoção do valor superior de US$ 100/tCO_2 considerado pelo BCB (2024) eleva as externalidades de R$ 18,53 milhões para R$ 22,25 milhões. A exclusão do estoque de carbono suprimido antes do horizonte de análise as reduz a R$ 16,43 milhões. A variação do fator de emissão dentro do intervalo reportado por Bernardino et al. (2024) altera o resultado em torno de 2,4%, e a substituição do valor regional de provisão pesqueira pelo parâmetro da CI (2024) o reduz em apenas 0,7%.

Nos cenários combinados, as perdas por inundação variam de R$ 20,09 milhões a R$ 162,65 milhões, e o valor total das camadas mensuradas varia de R$ 36,19 milhões a R$ 185,78 milhões, contra R$ 76,20 milhões no cenário central. O valor da proteção costeira varia, assim, de R$ 16,1 mil a R$ 130,6 mil por hectare por ano da área de análise. O cenário inferior combina menor frequência, menor valor das edificações, menor custo de oportunidade do tempo, ausência de prejuízos públicos e menor exposição de veículos; o superior combina maior frequência, maior exposição e parâmetros superiores de prejuízos e carbono.

Tabela 8 - Testes de sensibilidade das externalidades em Salinópolis

Teste	Externalidades em 30 anos	Variação
Cenário central	**R$ 18,53 milhões**	-
Custo social do carbono de US$ 100/tCO_2	R$ 22,25 milhões	+20,1%
Sem estoque de carbono anterior a 1996	R$ 16,43 milhões	-11,3%
Fator de emissão de 1.082 tCO_2/ha	R$ 18,08 milhões	-2,4%
Fator de emissão de 1.374 tCO_2/ha	R$ 18,97 milhões	+2,4%
Provisão pesqueira pelo valor da CI (2024)	R$ 18,39 milhões	-0,7%

Os testes indicam que a principal incerteza reside na caracterização da ameaça, notadamente na frequência e na profundidade dos eventos, e não nos parâmetros econômicos. Como as premissas centrais adotadas se situam no extremo conservador em relação à frequência sugerida pela classificação de risco alto da CPRM, o valor de R$ 46,30 mil por hectare por ano para o total da área de análise, ou ainda de R$ 59,24 mil/ha/ano para a área efetivamente suprimida de manguezal, devem ser interpretados como estimativas prudentes, próximas de um limite inferior.

2.3. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência

Sob o referencial do Triplo Dividendo da Resiliência (Heubaum et al., 2022; Brandon et al., 2025), o conjunto de perdas estimado corresponde à primeira camada de dividendo das SBN: os danos e prejuízos que seriam evitados pela manutenção do ecossistema e de sua capacidade de reduzir o risco de desastre. Esse primeiro dividendo constitui o núcleo usual das análises de custo-benefício de intervenções de redução de risco, mas no caso da análise retrospectiva de Salinópolis sua lógica é invertida: em vez de contabilizar os benefícios de uma intervenção que reduz perdas futuras (a restauração do manguezal), evidencia-se o montante de perdas já associado à remoção da infraestrutura natural preexistente.

O primeiro dividendo alcança, portanto, R$ 57,67 milhões acumulados ao longo dos trinta anos analisados, com média anual de R$ 1,92 milhão e valor de R$ 3,15 milhões no ano de 2025, sempre a preços constantes desse ano. Os danos materiais às edificações residenciais respondem pela maior parcela, com R$ 41,54 milhões, ou cerca de 72% do total, seguidos dos prejuízos privados de R$ 10,55 milhões, aproximados pelo custo de oportunidade do tempo mobilizado pelas famílias; e dos prejuízos públicos decorrentes dos efeitos sobre sistemas urbanos e da resposta aos eventos, de R$ 3,92 milhões. Referido à área de 32,45 hectares que outrora era coberta por mangue, esse dividendo equivale a R$ 59,24 mil por hectare por ano de serviço de proteção contra inundações que deixou de ser prestado. Caso esse cálculo unitário seja feito com a área total de análise no denominador, ter-se-iam R$ 46,30 mil/ha/ano.

O segundo dividendo do referencial do WRI compreende os benefícios econômicos induzidos pela redução do risco, tais como valorização imobiliária, maior segurança para investimentos, receitas sustentadas de turismo e pesca e manutenção da produtividade local. Essa camada não foi objeto de estimativa monetária autônoma neste caso, uma vez que a área analisada corresponde a bairros de ocupação predominantemente residencial e de alta vulnerabilidade socioeconômica, sem mercado imobiliário formal estruturado nem séries locais de atividade econômica que permitissem reconstruir um contrafactual defensável. Registra-se, contudo, que parte desse dividendo se manifesta indiretamente na provisão pesqueira contabilizada entre os cobenefícios, dada a relevância histórica da pesca artesanal para a economia do município.

Já o terceiro dividendo reúne os cobenefícios sociais e ambientais de manutenção de estoques e fluxos de carbono azul, a conservação da biodiversidade, a qualidade ambiental, a identidade cultural e outros serviços ecossistêmicos. Para Salinópolis, essa camada totaliza R$ 18,53 milhões nos trinta anos, ou R$ 617,58 mil por ano, dos quais R$ 14,81 milhões correspondem a fluxos recorrentes de serviços que deixaram de ser

prestados, e R$ 3,72 milhões à perda pontual do estoque de carbono e às emissões correlatas. Em termos unitários, os manguezais suprimidos deixaram de prestar R$ 19,03 mil por hectare por ano em cobenefícios socioambientais (R$ 14,87 mil/ha/ano para a área total de análise). O Triplo Dividendo, portanto, ajuda a compreender que o valor do manguezal é amplo e supera os danos materiais evitados em sua contribuição ao bem-estar local.

A leitura conjunta das camadas mensuradas totaliza R$ 76,20 milhões em trinta anos, ou R$ 2,54 milhões por ano, equivalentes a R$ 78,27 mil por hectare por ano sobre a área de mangue suprimida (R$ 61,17 mil/ha/ano sobre a área total de análise). Desse total, 75,7% correspondem a perdas que efetivamente recaíram sobre o patrimônio das famílias e sobre os cofres públicos, e 24,3% a serviços ecossistêmicos que não transitaram por qualquer contabilidade, o que evidencia que a conversão do manguezal transferiu custos para agentes que não participaram da decisão de ocupação.

Também é importante notar que, na interpretação prospectiva dos resultados obtidos, dois vetores podem ampliar as perdas esperadas e, consequentemente, o valor da proteção que deveria estar sendo proporcionada pelos manguezais (Costa, 2024).

- O primeiro é a exposição e vulnerabilidade crescentes: a continuidade da ocupação, o adensamento urbano e a elevação do valor dos ativos situados em áreas baixas tendem a aumentar a base patrimonial sujeita a danos, mesmo que a frequência e a intensidade dos eventos permaneçam constantes.
- O segundo é o agravamento dos perigos hidrometeorológicos em contexto de mudança do clima, incluindo alterações no regime de precipitação extrema, elevação do nível relativo do mar e possíveis mudanças na frequência, duração ou simultaneidade entre chuvas intensas e marés altas.

Este estudo de caso não pretende estimar as trajetórias futuras desses dois fatores; ainda assim, ambos os vetores indicam que a estimativa retrospectiva deve ser interpretada como conservadora, haja vista que, diante de maior exposição urbana e de perigos climáticos potencialmente mais severos, a proteção oferecida pelos manguezais tende a adquirir valor econômico ainda mais elevado.

Conclusões

O caso de Salinópolis ilustra a lógica econômica da perda de infraestrutura natural. A ocupação gradual da planície de maré substituiu um ecossistema adaptado à inundação por pessoas, residências e ativos expostos às suas dinâmicas naturais. Como resultado, a sociedade passou a suportar danos recorrentes associados às enchentes e deixou de receber serviços de regulação e provisão que o manguezal realizava sem requerer dispêndios públicos permanentes. O valor estimado para a proteção costeira, de R$ 59,24 mil por hectare por ano, e os valores complementares de externalidades, de R$ 19,03 mil/ha/ano, mostram que a conversão gerou custos sociais relevantes e recorrentes, não considerados nas decisões de ocupação.

Por fim, os resultados devem ser lidos como uma estimativa conservadora, haja vista não incorporar todos os efeitos sobre biodiversidade, paisagem, cultura, saúde, qualidade da água, recreação e turismo, nem modelar explicitamente o possível crescimento da exposição urbana ou a intensificação de chuvas extremas, marés e nível relativo do

mar sob mudança do clima. Ainda assim, a evidência reunida mostra que conservar os manguezais remanescentes e considerar a restauração de trechos onde ela seja tecnicamente viável não são apenas medidas ambientais, mas sim decisões econômicas associadas à redução de perdas, à manutenção de funções urbanas e costeiras e à proteção do bem-estar das populações que vivem na baixada de Salinópolis.

3. Praias e dunas em Natal (RN)

Ficha-resumo

Ecossistema: Praias e Dunas

Município: Natal, RN

Local: Orla de Ponta Negra

Área de análise: 14,00 ha, correspondente a aproximadamente 2,8 km de praia, considerando uma faixa de 50 m perpendicular à linha de costa, medida a partir da linha de preamar.

Característica: Orla urbanizada e turística, com trechos de praia sujeitos à erosão costeira e remanescentes de dunas vegetadas em áreas adjacentes.

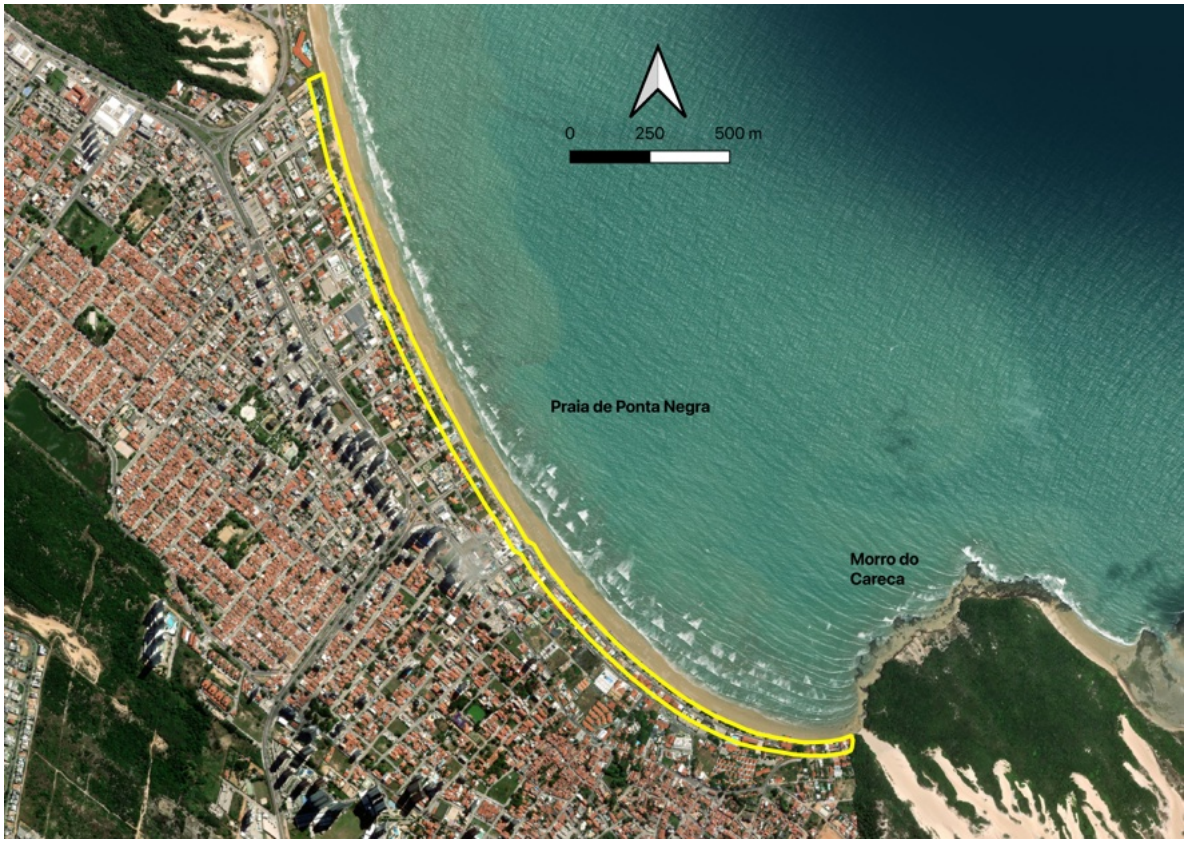


Figura 5 - Área do estudo de caso na cidade de Natal (RN), destacando o trecho erosivo da orla de Ponta Negra (em amarelo) e os remanescentes de dunas vegetadas adjacentes

Contextualização: O litoral de Natal é caracterizado pela presença de extensos campos de dunas vegetadas intercalados por áreas urbanizadas e de intenso uso turístico. Embora parte desses sistemas dunares permaneça relativamente conservada, alguns trechos da orla apresentam ocupação consolidada sob estes ambientes, com histórico de erosão costeira. Na Praia de Ponta Negra, já foi registrado um recuo da linha de costa de praticamente 80 m nos últimos 40 anos (Matos et al., 2022), com episódios cada vez mais frequentes de danos à infraestrutura pública e privada.

A orla de Ponta Negra constitui um estudo de caso representativo para avaliar os custos e benefícios associados à conservação de praias, cordões dunares e dunas vegetadas com espaço para movimentação natural e função de retenção de areia e estabilização; em comparação com cenários de sua supressão por ocupação urbana e consequente prejuízos econômicos com obras de reparação da infraestrutura urbana e necessidade de investimentos em obras de proteção costeira.

3.1. Histórico socioambiental

A Praia de Ponta Negra, em Natal, é uma das principais praias urbanas e turísticas do Rio Grande do Norte. Localizada no setor oriental do litoral potiguar, a praia apresenta aproximadamente quatro quilômetros de extensão e se conecta, ao norte, à Via Costeira, onde se concentra parcela relevante da hotelaria da capital. Na porção sul da enseada, está localizado o Morro do Careca, duna parcialmente vegetada que constitui um dos principais símbolos paisagísticos e turísticos de Natal (Câmara, 2023; Scudelari et al., 2016). A paisagem e a funcionalidade da Ponta Negra sustentam uma estrutura econômica diretamente associada ao turismo, pois em seu entorno estão concentrados hotéis, pousadas, bares, restaurantes, quiosques, comércio, serviços de transporte, locação de veículos e atividades recreativas. A praia, dessa forma, faz parte da infraestrutura que sustenta o fluxo de visitantes, o consumo turístico e a renda de diversos negócios locais (Araújo et al., 2016; Câmara, 2023).

Os dados de visitação, perfil e permanência dos turistas potiguares são, desde 2022, sistematizados no Sistema de Inteligência Turística do Rio Grande do Norte (SÍRIO), plataforma pública de dados turísticos desenvolvida em parceria pelo Sistema Fecomércio-RN, Senac-RN, e pela Empresa Potiguar de Promoção Turística (Emprotur)[25]. Segundo os painéis de perfil do turista, a Praia de Ponta Negra e o Morro do Careca se configuram como ativos naturais centrais para o turismo estadual: na média das pesquisas de 2022 a 2025, 55,18% dos turistas entrevistados declararam ter visitado ou planejado visitar Ponta Negra/Morro do Careca (listados assim, como um único atrativo). No mesmo período, 68,91% apontaram as belezas naturais como principal razão para escolher o Rio Grande do Norte como destino, em resposta de escolha única entre fatores como preço, localização, variedade de atrativos e gastronomia. Esses resultados sugerem que a conservação da paisagem natural e da qualidade recreativa das praias é parte constitutiva da atratividade turística potiguar.

Em Natal, a expansão da atividade turística ocorreu paralelamente à ocupação intensa de sua orla. A capacidade de hospedagem na capital passou de cerca de 18,7 mil leitos

[25] *Perfil do Turista Potiguar*, Sistema de Inteligência Turística do Rio Grande do Norte. Disponível em link.

em 2001 para 29,7 mil leitos em 2011, que permaneceu como o maior patamar da série até ser superado em 2025. A estrutura urbana e turística, contudo, foi consolidada em um ambiente costeiro dinâmico, sujeito à variação de ondas, marés, correntes, ventos e transporte de sedimentos. Estudos sobre a Ponta Negra apontam que a urbanização avançou sobre setores de pós-praia e dunas, restringindo a área disponível para a acomodação natural da praia (*coastal squeeze*) e ampliando a exposição das infraestruturas à erosão costeira (Amaro et al., 2021; Scudelari et al., 2016).

Perda do sistema praia-duna e avanço da erosão

Em condições naturais, a faixa de areia e as dunas funcionam como infraestrutura de proteção costeira, armazenando e redistribuindo sedimentos, permitindo o espraiamento e a dissipação de parte da energia das ondas, e assim oferecendo margem para que a praia se ajuste à ocorrência de ressacas, marés altas e ciclos de erosão e acreção (Scudelari et al., 2016). A perda desses elementos não interrompe essa dinâmica costeira, mas tão somente transfere seus efeitos para ativos urbanos construídos muito próximos à linha de costa. Quando a faixa de areia se reduz e a energia das ondas passa a alcançar calçadões, muros e redes urbanas, a erosão passa a gerar danos materiais e prejuízos econômicos.

Conforme análise multitemporal de Matos et al. (2022), a erosão da praia de Ponta Negra decorre da interação entre processos naturais e intervenções humanas, apontando que a praia apresenta déficit sedimentar e tendência erosiva de longa duração. No setor de análise que engloba a Ponta Negra e a Via Costeira, a erosão estava presente nos trechos urbanizados entre 1988 e 1998, sendo que entre 2008 e 2018, intensificou-se e passou a afetar 31 quilômetros de linha de praia, com taxa erosiva média de -1,15 metro por ano e taxa máxima de -7,68 metros por ano. O recuo estimado da linha de praia é de aproximadamente 79,4 metros. Matos et al. (2022) associam esse agravamento à combinação de condicionantes hidrodinâmicas, urbanização intensa, perda de dunas, remoção de areia, impermeabilização do solo e obras rígidas de contenção, não restando expectativas de uma eventual fase acrescionária capaz de compensar integralmente as perdas sedimentares acumuladas.

A crise de 2012 e a recorrência dos eventos

Essa situação é corroborada por Câmara (2023), que ao avaliar a evolução costeira de Ponta Negra e Via Costeira com imagens de satélite, também identificou erosão contínua e déficit sedimentar desde os anos 1990, quando a urbanização avançou sobre uma área que ainda fazia parte do sistema praia-duna, limitando a capacidade de dissipação de energia das ondas e alterando o balanço sedimentar. A autora destaca ainda que intervenções antrópicas como os sistemas de drenagem pluvial, lançamentos inadequados de águas servidas, retirada de vegetação e intervenções no talude e na pós-praia provavelmente agravaram a retirada de sedimentos de forma local, além de terem comprometido a estabilidade de obras costeiras.

Embora o processo erosivo venha de longa data, inclusive com registros de danos pontuais causados pela erosão, tais como o afundamento de trechos do calçadão, o evento

ocorrido dia 13 de julho de 2012 constitui o marco da crise de Ponta Negra[26]. Após uma sequência de marés altas e ressacas marinhas, com ondas de até três metros, o calçadão que já vinha sofrendo destruições colapsou em diversos trechos, fazendo com que a Prefeitura Municipal editasse o Decreto de Calamidade Pública nº 9.744/2012 em 14 de julho de 2012. O evento destruiu aproximadamente 300 metros do calçadão e levou à interdição preventiva 2,5 quilômetros do passeio público diante do risco e colapso. O evento também atingiu postes de iluminação, escadas de acesso e serviços urbanos instalados na orla (Câmara, 2023), e meses após a ocorrência, a situação ainda se mostrava crítica[27].

O evento foi registrado na base federal de desastres sob a tipologia erosão, e desencadeou um período de intervenções emergenciais e reparação da orla que perdurou até a reconstrução do calçadão, em 2014 (Prefeitura do Município de Natal, 2019). Nesse contexto, foi firmado o Termo de Compromisso nº 672742 com a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, para ações de restabelecimento de serviços essenciais na orla do calçadão da Praia de Ponta Negra.

O agravamento do processo aparece de forma ainda mais explícita no reconhecimento federal relacionado ao evento de 22 de março de 2013. O registro oficial do município aponta danos ao calçadão, às escadas de acesso à faixa de areia, à pavimentação, ao sistema de abastecimento de água, à rede de esgotamento sanitário, à drenagem pluvial e à iluminação pública[28]. Além disso, foram registrados o desmoronamento de 770 metros de muro de contenção, 690 metros de área destruída e 250 metros de área danificada no calçadão. Também são documentados prejuízos privados associados à perda da infraestrutura e à redução de uso da praia: com o calçadão comprometido, o horário de funcionamento dos quiosques teria sido reduzido, houve redução entre 40% e 60% da renda mensal anteriormente gerada por comerciantes, demissões médias de dois trabalhadores por quiosque e prejuízo de R$ 203 mil para os 29 quiosques ao longo dos sete meses em que o calçadão permaneceu danificado. O mesmo formulário registrou 138 trabalhadores afetados, incluindo cozinheiros, garçons e locadores de mesas e cadeiras. As perdas totais registradas pelo município apontam R$ 12,06 milhões em danos materiais e R$ 1,33 milhão de prejuízos (valores nominais)[29].

A crise de 2012-2014 ilustra como a erosão passa a produzir perdas quando alcança uma orla urbanizada, na qual a redução da faixa de praia e o colapso ou a interdição de infraestruturas físicas diminuem a capacidade de uso recreativo do local e afetam serviços públicos e atividades privadas. A recorrência do processo também aparece em registros posteriores de erosão, consultados via histórico do S2iD (op. cit.): no ano de 2016, 2020 e em 2024. O registro de 2024, por exemplo, descreve danos ou riscos de comprometimento de acessos à praia, escadarias, rampas, taludes e muros junto a

[26] *Destruído pela maré, calçadão de principal praia de Natal é interditado a partir de hoje*. UOL. 14 de jul. 2012. Disponível em link.
[27] *Calamidade no calçadão de Ponta Negra, em Natal, deve ser prorrogada*. G1 Rio Grande do Norte. 24 de set. 2012. Disponível em link.
[28] Histórico do Sistema Integrado de Informações sobre Desastres - S2iD. Disponível em link.
[29] Retoma-se que o uso do termo 'perdas' engloba duas dimensões: os danos, referentes ao comprometimento físico de ativos, tais como calçadões, muros de contenção, escadas, redes de abastecimento de água, iluminação e demais infraestruturas públicas ou privadas; e os prejuízos, que são correspondentes às atividades que deixam de ocorrer ou são reduzidas em decorrência da perda da funcionalidade da praia e da orla, notadamente a diminuição do fluxo de visitantes, menor tempo de permanência, interrupção de serviços e outros.

empreendimentos localizados na Via Costeira. A ocorrência é coerente com reportagem publicada no mesmo período, que noticiou desabamento de dissipadores de drenagem e muros de contenção, além da decretação municipal de situação de emergência diante do avanço do mar em Ponta Negra e Via Costeira[30].

A resposta pública por obras de engenharia

Em termos de resposta pública à erosão de Ponta Negra, a orientação foi por obras de engenharia costeira. Após os danos de 2012, foram celebrados instrumentos federais para o restabelecimento de serviços essenciais e reconstrução da orla, sendo que uma das obras mais importantes foi o enrocamento ao longo de dois quilômetros de encosta, consistindo na colocação de conjuntos de blocos de pedras para proteger o talude contra a erosão das ondas. Além do Termo de Compromisso já citado, o Município de Natal celebrou o Termo nº 674243, iniciado em 2013 e vigente até 2026, para ações de reconstrução que incluem muro de contenção, rampas de acessibilidade, escadas e ampliação da faixa de areia ao longo de quatro quilômetros.[31 e 32]

Segundo Scudelari et al. (2016), o enrocamento aderente foi a principal resposta inicial de contenção, tendo sido instalado junto à base do calçadão como medida de proteção contra a energia incidente das ondas, abrangendo trecho de aproximadamente dois quilômetros entre o Morro do Careca e a Rua Pastor Rodolfo Beutemüller. A obra foi concebida como ação de restabelecimento e proteção provisória enquanto se definiriam soluções de recuperação mais abrangentes.

Esse tipo de obra pode reduzir o risco imediato de colapso da infraestrutura situada em sua retaguarda, mas não recompõe automaticamente a função sedimentar da praia. Ademais, estruturas rígidas fixam a posição da linha de costa e podem reduzir a faixa de areia disponível diante de balanço sedimentar negativo. Câmara (2023) observou que a erosão continuou ativa em Ponta Negra e Via Costeira, apontando ainda as fragilidades da integração entre os projetos de contenção, aterro hidráulico e drenagem pluvial. A autora também identificou pontos de desorganização e recalque de estruturas, retirada de sedimentos junto à base de contenções, galerias de drenagem lançando água na face praial e intervenções locais capazes de intensificar a instabilidade de trechos da orla.

A análise não implica, evidentemente, que o gasto público com a contenção tenha sido o principal causador da erosão, uma vez que o processo é anterior e envolve forçantes tanto antrópicas como naturais. O ponto relevante é que o enrocamento e as demais obras de engenharia representam gastos necessários para responder aos efeitos da perda de funcionalidade do sistema praia-duna, mas não eliminam, por si só, o déficit sedimentar ou a necessidade de manutenção e de intervenções complementares. Como exemplo da repercussão pública do problema, reportagem de 2024 reproduz avaliação de pesquisador da Universidade Federal do Rio Grande do Norte segundo a qual

[30] *Avanço da maré em Natal: rede hoteleira vê "corrida contra o tempo" e fala em risco para "toda a estrutura do turismo".* O Globo. 24/09/2024. Disponível em link.
[31] *Com investimentos do MDR obras vão melhorar qualidade de vida e o turismo em Natal (RN).* Notícias do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional - MIDR. 25 jun. 2020. Disponível em link.
[32] *MDR garante recursos para obras de recuperação da orla da Praia de Ponta Negra em Natal (RN).* Notícias do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional - MIDR. 27 sep. 2021. Disponível em link.

a permanência de enrocamentos e muros tende a transferir parte da energia das ondas para áreas adjacentes[33].

A sucessão de estudos, projetos, manutenções, obras de contenção, recuperação de calçadão, monitoramento ambiental, drenagem e engorda de praia demonstra que os custos associados à erosão não se resumem à reparação de um único evento, mas sim tomam um caráter recorrente e cumulativo à medida que a infraestrutura urbana precisa substituir, ainda que parcialmente, as funções de dissipação de energia e retenção sedimentar que antes eram desempenhadas pelo sistema costeiro natural. Entre 2012 e 2025, os dispêndios públicos identificados em convênios federais e empenhos municipais relacionados à reconstrução, manutenção, contenção, estudos, monitoramento e adaptação em Ponta Negra somaram R$ 145,3 milhões, a preços constantes de 2025, como é detalhado no próximo item.

Efeitos econômicos e resposta recente

A erosão também compromete atributos não diretamente registrados na contabilidade pública dos episódios emergenciais para uma praia urbana e de alta relevância turística: a qualidade recreativa e a atratividade turística da Ponta Negra estão vinculadas à paisagem natural e à qualidade da praia. A perda de faixa de areia, a presença de estruturas rígidas, a interdição de acessos e o comprometimento visual da orla podem afetar tanto a experiência dos visitantes quanto às condições de operação de atividades econômicas dependentes do local, como aponta a descrição do registro municipal do episódio de 2013.

Embora sejam escassos os estudos que investigam a percepção do turista em relação à qualidade ambiental de uma praia, a situação de Natal se destaca pela tese de Medeiros (2017), que acompanhou usuários da Ponta Negra antes, durante e após a implantação das obras emergenciais de contenção. O levantamento envolveu 638 usuários da praia (dentre moradores, turistas e comerciantes locais), entrevistados no trecho mais afetado pela erosão, abrangendo o período anterior à implantação do enrocamento, sua execução e os anos imediatamente posteriores. Um dos resultados da autora aponta para a percepção positiva dos entrevistados quanto à execução de obras voltadas à solução da erosão. Não obstante, 78% afirmaram que "o enrocamento descaracteriza a paisagem natural da Praia de Ponta Negra". A pesquisa evidencia, assim, que a condição paisagística e recreativa é negativamente afetada pela infraestrutura rígida.

Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Hotéis do Rio Grande do Norte - ABIH-RN (Novo Notícia[34]), desde o início da crise erosiva em 2012, a cidade de Natal apresentou uma redução no número de leitos de hospedagem, com queda de aproximadamente 1,2 mil leitos em relação ao estoque de 29,7 mil existentes em 2011. Na reportagem, o representante da associação enfatiza: *"Quantos hotéis na Beira Mar foram construídos em Ponta Negra? Nos últimos 15 anos, absolutamente nenhum."*.

Essa perda também foi documentada por levantamento da Fecomércio-RN[35], que noticiou redução de 5% na capacidade de hospedagem de Natal ao longo de cinco anos após

[33] *Como enrocamento acelerou erosão da Praia de Ponta Negra*. Saiba Mais. 21/08/2024. Disponível em link.
[34] *Turismo potiguar perde mais de R$ 320 mil por dia após fechamento de leitos na rede hoteleira de Natal*. Novo Notícias. 23 jul. 2023. Disponível em link.
[35] *Natal perde 5% dos leitos de hospedagem em cinco anos*. Fecomércio RN. 21 de jul. 2017. Disponível em link.

2012. Embora a erosão costeira seja reconhecida como uma das causas dessa situação de retração na demanda turística, não se pode atribuir causalidade direta. Afinal, nesse mesmo período, outros fatores também contribuíram para a retração, tais como a situação econômica, alterações na conectividade aérea, concorrência com outros destinos, crise de segurança pública e mudanças na própria estrutura da rede hoteleira (Araújo et al., 2016). Segundo o representante da ABIH-RN: *"O bairro, o destino, o local Ponta Negra está em decadência. Ou seja, precisa ser revitalizado. Fazer engorda, ajeitar calçadão, colocar policiamento, melhorar iluminação. Enfim, uma série de ações para reestruturar."* (Novo Notícia, op. cit.).

Embora a erosão seja uma das várias causas, certamente figura dentre as principais. Em notícia veiculada no ano de 2025, ao término das obras de alargamento da Praia de Ponta Negra, o representante da ABIH-RN aponta como um marco para o turismo local: *"Consideramos a obra mais importante dos últimos 30 anos. Houve um aumento sensível, girando na média ocupacional em torno de 4% a 6% em relação ao mesmo período do ano passado."* (Agora RN[36]). Em reportagem mais recente, o setor reforça que os hotéis, bares e restaurantes de Natal, em especial os localizados na praia de Ponta Negra, tiveram aumento na circulação de pessoas na orla e maior permanência dos turistas no espaço da praia, destacando que o controle da erosão *"(...) gera impacto direto no consumo, na ocupação hoteleira e na confiança do setor privado em voltar a investir."*[37].

A Prefeitura de Natal[38] também coloca o alargamento da praia e o controle da erosão como um marco para Ponta Negra, citando ter sido a maior obra da história do estado em áreas costeiras. O aterro hidráulico, que se estende por 4 quilômetros de costa, utilizou 1,02 milhão de metros cúbicos de areia. Segundo a Secretaria de Meio Ambiente e Urbanismo, a obra concede maior segurança contra os processos erosivos que acometiam a linha de costa da praia, promovendo assim *"a valorização socioeconômica, especialmente para o turismo, uma vez que aumenta a geração de empregos e renda."*.

O Caso Ponta Negra sintetiza, assim, uma sequência econômica na qual a redução da funcionalidade do sistema praia-duna torna uma orla densamente urbanizada mais exposta às ondas, marés e ressacas; essa exposição, por sua vez, eventualmente se materializa em danos a calçadões, muros, acessos e sistemas urbanos correlatos, como saneamento, drenagem e iluminação. Os danos, por sua vez, comprometem o valor paisagístico e geram prejuízos para quiosques, hotéis, bares, restaurantes e outros negócios que dependem do uso recreativo e turístico da praia. A resposta pública, por sua vez, exige recursos para obras, manutenção, estudos, monitoramento e adaptação.

[36] *RN é o terceiro destino que mais vende no mercado europeu, diz presidente da ABIH-RN*. Agora RN. 20 mai. 2025. Disponível em link.
[37] *Turismo do RN sai em defesa da engorda de Ponta Negra e alerta: "obra é vital para economia"*. Sindicato de Hotéis, Restaurantes, Bares e Similares do Rio Grande do Norte. 16 mai. 2026. Disponível em link.
[38] *Uma nova Ponta Negra começa a surgir após a engorda, diz titular da Semurb*. Prefeitura de Natal. 27 jan. 2025. Disponível em link.

3.2. Valoração da perda de serviços ecossistêmicos

3.2.1. Abordagem e base de estimação

O caso de Ponta Negra revela que a infraestrutura natural tem a capacidade de reduzir danos, além de sustentar o turismo e evitar parte dos custos públicos e privados que surgem quando a linha de costa perde sua capacidade de acomodar a dinâmica natural do mar. Ao comprometer essa infraestrutura natural, incorre-se perdas (danos e prejuízos) que não teriam ocorrido caso o sistema praia-duna tivesse sido mantido ou restaurado. Busca-se estimar, em valores monetários, parte dos serviços de proteção e suporte ao turismo que deixaram de ser prestados à medida que a erosão reduziu a funcionalidade da Praia de Ponta Negra. A valoração aqui desenvolvida mensura três manifestações sinérgicas, porém distintas desse processo:

- Os custos públicos incorridos em reconstrução, manutenção, estudos, monitoramento, obras de contenção e ações de adaptação à erosão costeira;
- Os prejuízos privados associados à redução dos gastos realizados por visitantes que continuaram a frequentar a área, mas em condições inferiores de fruição; e
- A parcela da renda turística que deixou de ocorrer em razão da redução da atratividade e da capacidade de uso da Praia de Ponta Negra.

Nota-se que essa metodologia não corresponde à mensuração do valor de existência da Ponta Negra, à disposição a pagar de moradores e turistas por uma praia ambientalmente íntegra ou à perda integral de bem-estar associada à deterioração paisagística. Também não são incluídos efeitos multiplicadores sobre emprego, renda e cadeia produtiva do turismo, pois isso exigiria modelagem econômica específica e incorreria no risco de dupla contagem. De forma mais delimitada, traçam-se hipóteses plausíveis que permitem reconstruir uma parcela dos custos econômicos que se tornaram observáveis após a degradação da faixa costeira e sua crescente dependência de obras de engenharia. Por essa razão, os valores apresentados devem ser interpretados como uma estimativa conservadora, limitada aos efeitos materiais e economicamente observáveis da perda de serviços ecossistêmicos.

3.2.2. Estimativa das perdas

Custos públicos de reconstrução e adaptação

A primeira linha de valoração corresponde aos gastos públicos incorridos em resposta à erosão costeira na Praia de Ponta Negra, ou seja, os dispêndios que se tornaram necessários para restabelecer serviços públicos, reparar a infraestrutura urbana danificada, manter as estruturas de proteção, elaborar estudos, monitorar a erosão, executar obras de contenção e implantar intervenções de adaptação, incluindo a engorda da praia que foi concluída no ano de 2025. A estimativa desses valores foi construída a partir de dois registros administrativos complementares, o primeiro deles sendo os registros de instrumentos celebrados entre o Governo Federal, por meio da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Ministério da Integração e Desenvolvimento Regional e a Prefeitura do Município de Natal, consultados no Portal de Convênios

Federais[39]. O segundo, foram de empenhos identificados no Portal da Transparência da Prefeitura de Natal[40]. Para ambos, foram considerados os valores efetivamente liberados, nas datas respectivas em que o foram, e não apenas os valores globais originalmente celebrados nos instrumentos.

No âmbito federal, foram identificados os Termos de Compromisso já citados no item de contextualização, quais sejam:

- Termo de Compromisso nº 672742, vigente de 24/08/2012 a 15/04/2014 para ações de restabelecimento de serviços essenciais na orla do calçadão de Ponta Negra (R$ 5,99 milhões); e
- Termo de Compromisso nº 674243, vigente de 10/04/2013 a 29/10/2026, para ações de reconstrução no Município de Natal, incluindo muro de contenção, acessibilidade, escadas e ampliação da faixa de areia (R$ 94,63 milhões).

O primeiro foi direcionado especificamente ao restabelecimento de serviços essenciais na orla do calçadão de Ponta Negra após o episódio de 2012; já o segundo abrangeu ações mais amplas, notadamente o enrocamento e a ampliação da faixa de areia.

Além dos recursos federais, foram sistematizados 21 registros de empenho municipal (não vinculados aos convênios, de forma a não incorrer em dupla contagem) referentes ao controle da erosão na Praia de Ponta Negra, dentre os principais:

- Serviços de manutenção, conservação e monitoramento ambiental das estruturas de proteção do avanço do mar, enrocamento aderente do calçadão em 2016;
- Manutenção, conservação e monitoramento ambiental das estruturas de proteção e do enrocamento aderente em 2016, 2017, 2020 e 2021;
- Recuperação de muros, galerias, contenção e calçadão em 2018;
- Recuperação da orla marítima do município. execução de obras de proteção costeira visando a contenção do processo erosivo e estabilização da linha de costa em 2021;
- Projetos básico e executivo para engorda de praia, drenagem, contenção costeira e estabilização da linha de costa em 2021;
- Reconstrução emergencial do calçadão em 2023; e
- Monitoramento ambiental, estudos complementares, supervisão, apoio à fiscalização e gestão das obras de engorda da praia em 2024 e 2025.

Os dispêndios foram então distribuídos ano a ano e atualizados a preços constantes de 2025 pelo Índice Nacional de Custo da Construção (INCC). Entre 2012 e 2025, os custos públicos identificados totalizam R$ 145,30 milhões, a preços constantes de 2025, com os maiores volumes ocorrendo nos anos recentes, refletindo a intensificação das obras de contenção e da engorda da praia.

Dada a necessidade de constante manutenção das obras de proteção costeira, esse resultado não representa um custo definitivo, mas sim uma fotografia atual dos

[39] Portal de Transparência do Governo Federal, Controladoria Geral da União, Consulta de Convênios e Acordos do Governo Federal. Disponível em link.
[40] Portal Natal Transparente, Controladoria Geral do Município de Natal (RN). Disponível em link.

dispêndios realizados desde o evento de 2012 até o ano de 2025. Inclusive, embora a data de referência para o estudo seja 2025, existem indícios de 2026 que apontam para a necessidade de novos esforços de contenção da erosão, haja vista redução de cerca de 40% do volume original de areia[41], conforme já alertavam alguns dos pesquisadores citados na contextualização[42].

Fluxos turísticos na Praia de Ponta Negra

O percurso metodológico para estimar os prejuízos privados associados à redução dos gastos realizados por visitantes e a parcela da renda turística que deixou de ocorrer é mais complexo do que o do levantamento dos dispêndios públicos. Afinal, exigem tanto a reconstrução da renda turística vinculada à Praia de Ponta Negra desde 2012, como a concepção de um cenário contrafactual, no qual a situação de erosão e perda da qualidade da praia deixam, hipoteticamente, de ocorrer.

A inexistência de estatísticas diretas de visitação à Praia de Ponta Negra constitui a principal limitação, pois muito embora o já citado Sírio compile estatísticas detalhadas sobre o turismo potiguar de forma geral, é necessário considerar quantas pessoas frequentam anualmente o local específico de estudo, bem como o tempo médio de permanência, o gasto realizado em seus quiosques, bares, restaurantes, comércio ambulante, passeios ou demais atividades vinculadas ao atrativo. Como método alternativo, a base de visitantes foi reconstruída por meio do cruzamento de informações sobre capacidade de hospedagem, ocupação hoteleira, duração da estadia e participação da Ponta Negra entre os atrativos visitados.

O ponto de partida foi o Sírio, que disponibiliza painéis e boletins que consolidam informações de pesquisas com visitantes ao estado do Rio Grande do Norte, permitindo compreender seu perfil. Cabe notar que todas as pesquisas entre 2022 e 2025 tiveram mais de 5 mil respondentes (média de 5,2 mil por ano). Foram utilizados dados dos painéis de perfil turístico entre 2022 e 2025, complementados pela pesquisa *Perfil do Turista do Rio Grande do Norte 2021*, elaborada pela Fecomércio-RN e pela Emprotur (2021). Embora as pesquisas desses instrumentos não sejam inteiramente idênticas, permitem obter parâmetros complementares.

Os dados do Sírio mostram que a Ponta Negra/Morro do Careca figura sistematicamente entre os principais atrativos do estado. Na média entre 2022 e 2025, 55,18% dos respondentes declararam ter visitado ou planejado visitar o atrativo. A pesquisa de 2021 também apontou Ponta Negra/Morro do Careca como o ponto turístico mais visitado pelos turistas entrevistados, com participação de 57,4%. Os painéis do Sírio também permitem identificar que o tempo médio de permanência no Rio Grande do Norte foi de 6,75 dias, na média dos anos de 2022 a 2025.

A quantidade de turistas hospedados em Natal foi estimada a partir da evolução do número de leitos disponíveis na rede de hospedagem e de sua taxa média de ocupação, sendo que cada ocupação de leito corresponde a um turista hospedado. Captura-se, dessa forma, apenas a quantidade de turistas hospedados na rede formal de

[41] *Relatório aponta perda de quase 40% da faixa de areia da engorda de Ponta Negra*. G1 Rio Grande do Norte. 02 jun. 2026. Disponível em link.
[42] *O mar vai invadir sua praia: obra de engorda em Natal pode ser problema sem fim*. Pública. 02 set. 2024. Disponível em link.

hospedagem da capital potiguar, o que deve ser interpretado como um piso para o fluxo turístico efetivo. Afinal, ficam fora da contagem os visitantes hospedados em residências de parentes e amigos, em imóveis de aluguel por temporada (tais como os ofertados por plataformas digitais) e em segundas residências, bem como os excursionistas que visitam a praia sem pernoitar na capital e, evidentemente, os próprios moradores da Região Metropolitana de Natal que a frequentam como opção de lazer. Todos esses grupos também frequentam o atrativo, de modo que sua exclusão confere caráter conservador às estimativas consequentes de renda turística não realizada e de prejuízos privados apresentadas adiante.

Iniciando-se com os leitos, cujas evidências são esparsas: para o ano de 2025, foi utilizada referência setorial aproximada de 30 mil leitos[43]; em 2022, um mapeamento de atividades turísticas em Natal, produzido pelo Sebrae e Prefeitura de Natal, identificou 27,52 mil leitos[44]; para os anos de 2016 (28,30 mil) e 2011 (29,70 mil), foram consultados os dados da Pesquisa de Serviços de Hospedagem - PSH do IBGE[45] ; e para o ano de 2001, foi encontrada referência de 18,65 mil leitos no estudo de viabilidade da concessão do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante[46]. Para reconstruir toda a série anual, os demais pontos foram interpolados entre os observados, de forma linear.

Para a taxa média anual de ocupação hoteleira, estimou-se 58,38%, mediante ponderação entre baixa (270 dias) e alta estação e feriados (95 dias), considerando ocupações respectivas de 55% e 68%. A delimitação de 95 dias é compatível com a referência estadual de alta temporada entre dezembro e fevereiro e com o período de maior movimento entre 22 de dezembro e 22 de fevereiro. As taxas utilizadas estão alinhadas às informações reportadas pela ABIH-RN[47].

Com a capacidade de hospedagem, a ocupação média anual e a permanência de 6,75 dias, estima-se que cada leito tenha sido ocupado, em média, 54 vezes distintas ao longo de um ano. Aplicando-se o fator de 1,92 pessoa por hospedagem, obtém-se a série de turistas hospedados em Natal. Por fim, a fração média de 55,18% de visitantes que declarou visitar ou pretender visitar Ponta Negra/Morro do Careca permite estimar o número de visitantes anuais associados especificamente ao atrativo.

O resultado dessas estimativas é apresentado na Tabela 9, que traz a quantidade estimada de turistas que visitaram a Praia de Ponta Negra a cada ano, nos últimos 15 anos. Em 2025, por exemplo, a capacidade estimada de 30 mil leitos e a taxa média de ocupação resultam em aproximadamente 17,52 mil leitos efetivamente ocupados. Considerando a rotação de hóspedes ao longo do ano, isso equivale a 946,76 mil ocupações únicas e, portanto, a igual número de turistas hospedados na rede formal de hospedagem da cidade. Aplicada a participação dos visitantes que indicaram Ponta Negra/Morro do Careca como um dos atrativos, a estimativa alcança aproximadamente 522,40 mil visitantes vinculados à praia específica naquele ano.

[43] *Com mais de 30 mil leitos, hotéis de Natal agora apostam em acomodações de luxo*. Agora RN. 20 mai. 2025. Disponível em link.
[44] *Turismo gera mais de 18 mil empregos em Natal, aponta mapeamento*. G1 RN. 16 jun. 2023. Disponível em link.
[45] Pesquisa de Serviços de Hospedagem, IBGE. Disponível em link.
[46] EVTEA do Aeroporto de São Gonçalo do Amarante, ANAC. 06 ago. 2010 (ano inicial da série projetada de leitos). Disponível em link.
[47] *RN tem a pior baixa estação dos últimos anos com 42% de ocupação hoteleira*. Tribuna do Norte. 10 ago. 2023. Disponível em link.

Tabela 9 - Estimativas de fluxos turísticos na Praia de Ponta Negra

Ano	Leitos de hospedagem em Natal	Leitos médios ocupados no ano	Turistas hospedados em Natal	Turistas que visitaram a Praia de Ponta Negra
2025	30.000	17.515	946.757	522.397
2024	29.172	17.032	920.649	507.991
2023	28.344	16.548	894.486	493.555
2022	27.517	16.065	868.378	479.149
2021	27.648	16.142	872.541	481.446
2020	27.778	16.218	876.649	483.713
2019	27.908	16.294	880.757	485.980
2018	28.038	16.370	884.865	488.246
2017	28.168	16.445	888.919	490.483
2016	28.300	16.523	893.135	492.810
2015	28.580	16.686	901.946	497.671
2014	28.860	16.849	910.757	502.533
2013	29.140	17.013	919.622	507.424
2012	29.420	17.176	928.432	512.286
2011	29.700	17.340	937.297	517.177

Para testar a razoabilidade das estimativas, observa-se que o número de passageiros recebidos no Aeroporto Internacional de Natal em 2024 foi de 2,3 milhões[48]. Como o indicador registra embarques e desembarques, são 1,15 milhão de chegadas (metade), que aplicadas pela participação de 52,48% de turistas que chegam ao estado por via aérea, permitem estimar aproximadamente 2,19 milhões de turistas. Após descontar a parcela de 19% que se dirige diretamente a outros destinos (com dados do Sírio), a estimativa é de 1,78 milhão de turistas em Natal em 2024. Pelo método baseado na capacidade hoteleira, o resultado nesse mesmo ano é de 920,65 mil turistas hospedados, ou seja, cerca de 52% da estimativa derivada do fluxo aéreo. Uma segunda verificação utiliza informação oficial de 2012, segundo a qual Natal recebeu 1,70 milhão de turistas[49]. Para o mesmo ano, a estimativa baseada no número de leitos foi de 928,43 mil turistas, equivalente a cerca de 55% do total oficial.

As diferenças encontradas são esperadas e coerentes com o escopo da estimativa, que se restringe aos hóspedes da rede formal de hospedagem, excluindo os visitantes hospedados em outros locais, bem como os excursionistas sem pernoite. Deve-se notar, ainda, que a estimativa derivada do fluxo aéreo tende a superestimar o número de turistas, pois as chegadas ao aeroporto incluem viajantes a negócios. Evidente que essas comparações não substituem uma série de contagem direta de visitantes, que inexiste para a Praia de Ponta Negra especificamente, mas indicam que a série reconstruída

[48] Emprotur-RN. Disponível em link.
[49] Governo do Rio Grande do Norte. Disponível em link.

constitui um piso conservador para os fluxos turísticos associados ao atrativo, situando-se em torno de metade dos fluxos totais estimados por fontes independentes.

Gastos turísticos associados à Praia de Ponta Negra

Uma vez estimados os fluxos turísticos específicos à Praia de Ponta Negra, torna-se possível associar os valores econômicos de interesse, tendo-se como base de partida a estimativa de gasto por visitante. Utilizou-se, para tal, dos dados da PNAD Contínua - Módulo Turismo, realizada pelo IBGE em parceria com o Ministério do Turismo desde 2020[50]. A pesquisa traz informações sobre gasto médio diário por pessoa em viagens nacionais, reportando R$ 285,50 em 2020, R$ 309,37 em 2021, R$ 280,00 em 2023 e R$ 280,38 em 2024 (não houve coleta em 2022 devido à interrupção do convênio naquele ano). Estes valores estão atualizados pelo IPCA para preços de 2025, notando-se uma redução desde os anos de 2020/2021 aos de 2023/2024. Uma vez que o início da série foi marcado pela pandemia de Covid-19, e que há convergência para os resultados mais recentes (2023/2024), utiliza-se o valor de R$ 280 por pessoa por dia (em preços de 2025), como parâmetro homogêneo para toda a série retrospectiva. Nota-se que o Sírio traz valores de intenção de gasto por turista por dia, mas foram identificadas divergências entre os publicados para o mesmo ano de referência em boletins e matérias distintas associadas à Emprotur, sugerindo que pode haver revisões metodológicas ou mesmo inconsistências internas. A PNAD, muito embora não ofereça uma estimativa específica para o Rio Grande do Norte, foi assim escolhida por sua consistência.

Finalmente, o gasto turístico anual associado à Praia de Ponta Negra foi calculado pela multiplicação do número estimado de visitantes do atrativo pela diária de gasto de R$ 280,00, a preços de 2025. Essa hipótese representa um gasto de base associado ao uso do atrativo e ao conjunto de atividades de alimentação, recreação, comércio e serviços que sua visita pode mobilizar, pressupondo ainda que o visitante passe ao menos um dia de sua permanência em Natal na praia. Nota-se que o parâmetro de gasto diário inclui despesas com hospedagem, que não dependem diretamente da praia; em sentido oposto, contudo, a base de visitantes se restringe aos hóspedes da rede formal de hospedagem, o que mantém o caráter conservador da estimativa. Em 2025, o gasto turístico estimado corresponde a R$ 146,27 milhões associados ao atrativo. Em 2011, a estimativa era de R$ 144,81 milhões, sempre a preços constantes de 2025. A relativa estabilidade do gasto anual mínimo estimado ao longo da série reflete que o fluxo turístico geral de Natal permaneceu elevado. A próxima questão é identificar quanto desse gasto deixou de crescer, ou deixou de ocorrer, diante da perda de amenidade imposta pela erosão.

Renda turística não realizada

Para se estimar a parcela da renda turística que deixou de ocorrer em razão da redução da atratividade e funcionalidade da Praia de Ponta Negra, os gastos turísticos observados (mesmo que reconstruídos) são comparados aos gastos contrafactuais mínimos, em um cenário no qual a capacidade de hospedagem registrada em 2011 permanece constante nos anos subsequentes ao invés de seguir o observado padrão de redução. Esse ano foi adotado como referência porque coincide com o período a partir do qual o avanço erosivo passa a comprometer de forma mais evidente a faixa de areia, o

[50] PNAD Contínua, Módulo Turismo. Disponível em link.

calçadão, a infraestrutura urbana e o uso turístico da Ponta Negra (Medeiros, 2017; Scudelari et al., 2016; Amaro et al., 2021).

Tem-se uma concepção desse cenário contrafactual conservadora, pois não pressupõe que o turismo de Natal teria crescido linearmente, tampouco que a totalidade das variações no estoque hoteleiro decorra da erosão costeira. Ao preservar, no contrafactual, a capacidade de 29,7 mil leitos existente em 2011, tem-se um fluxo de gastos turísticos hipotéticos que supera os observados, sendo que a diferença entre estes revela o crescimento que deixou de ocorrer. Uma vez que essa diferença possui múltiplos determinantes potenciais (ciclos econômicos, segurança pública etc.), adota-se uma fração arbitrária, porém plausível, de 20% da diferença como parcela imputável à degradação da Ponta Negra. Essa atribuição funciona como uma premissa de proporcionalidade diante de evidências qualitativas e administrativas comentadas na contextualização.

A perda acumulada de renda turística atribuída à erosão entre 2011 e 2025 alcança R$ 16,80 milhões, a preços constantes de 2025. O valor deriva da aplicação da fração de 20% sobre a diferença anual entre os gastos do cenário contrafactual e o gasto turístico estimado no cenário observado, sendo uma estimativa conservadora da renda que deixou de circular na atividade turística vinculada à Praia de Ponta Negra, não como uma medida integral de perda de bem-estar ou de receita de agentes específicos. A utilização dos gastos turísticos corresponde a uma métrica do valor econômico territorial proporcionado pela Praia de Ponta Negra. Assim, mesmo que o gasto não realizado possa ter sido deslocado para outros atrativos ou destinos, sua redução continua expressando a perda de uma capacidade econômica anteriormente ofertada pelo local. Estes resultados, portanto, não representam necessariamente uma perda alocativa de bem-estar da sociedade, mas sim o valor econômico diretamente associado à funcionalidade territorial da Praia de Ponta Negra.

Prejuízos privados por redução de gasto turístico

A estimativa dos prejuízos privados captura a redução de gastos dos visitantes que continuaram a frequentar a Ponta Negra, mas encontraram a praia sob condições inferiores de uso. Trata-se de uma dimensão distinta da renda turística não realizada, pois enquanto aquela procura representar a parcela do crescimento turístico que deixou de se materializar, esta capta a redução potencial de consumo de visitantes que já estavam no destino ou que visitaram a praia, mas diminuíram sua permanência e seus gastos em razão da erosão (e consequente comprometimento da faixa de areia, da interdição de acessos ou do impacto visual e funcional das obras de contenção). O registro oficial do evento erosivo de 2013 descreve que o comprometimento do calçadão reduziu o horário de funcionamento dos quiosques e afetou o fluxo de consumidores, estimando perdas mensais entre 40% e 60% da renda antes gerada, além de prejuízos em atividades turísticas e serviços locais.

Na ausência de uma série direta de faturamento dos estabelecimentos, o prejuízo privado foi estimado por meio de frações aplicadas sobre os gastos turísticos associados à Ponta Negra, assumidos de forma arbitrária a partir dos relatos qualitativos já descritos. Foram adotadas três diferentes frações de redução ao gasto turístico:

- Para o ano em que houve registro formal de erosão reconhecido na base federal de desastres, adotou-se uma redução de 10%;

- Para o ano imediatamente anterior a esse evento crítico, 5%;
- Já para os demais anos do período, adotou-se uma redução de 1%.

Foram tratados como anos críticos 2012, 2013, 2016, 2020 e 2024, todos com registros de erosão na base federal de desastres. A hipótese de 10% representa uma premissa prudencial para anos em que o processo erosivo assumiu gravidade suficiente para constar em registros oficiais, mobilizar recursos públicos, interromper estruturas urbanas ou afetar diretamente a atividade econômica local. A fração de 5% no ano anterior considera que o agravamento dos processos erosivos é geralmente precedido por deterioração gradual da experiência turística. Finalmente, a taxa mínima de 1% nos demais anos reconhece perdas graduais de uso e consumo sem pressupor que toda erosão anual acarrete um choque econômico de grande magnitude. Para o ano de 2025, não foi atribuída redução, haja vista a conclusão da engorda da praia em seu início e os relatos setoriais de aumento da ocupação hoteleira e da circulação de visitantes na orla, descritos no item 3.1.

A aplicação dessas frações à série anual de gastos turísticos mínimos resulta em R$ 104,88 milhões de prejuízos privados acumulados entre 2011 e 2025, a preços de 2025. O resultado representa gasto que deixou de circular em atividades privadas associadas ao uso turístico da Praia de Ponta Negra, não correspondendo à perda total de bem-estar dos visitantes, assim como não inclui multiplicadores econômicos e não deve ser interpretado como receita de um agente específico, mas sim como uma estimativa agregada, distribuída potencialmente entre hospedagem, alimentação, quiosques, comércio, lazer, transporte, ambulantes e demais atividades vinculadas ao turismo de praia. Cabe registrar que o valor estimado para 2013 (R$ 14,21 milhões, a preços de 2025) supera em cerca de dez vezes o prejuízo privado registrado pelo Município no formulário do evento daquele ano (R$ 1,33 milhão, a valores da época), restrito aos quiosques e trabalhadores diretamente afetados. A diferença reflete a distinta abrangência das métricas, uma vez que a estimativa aqui realizada contempla o conjunto de gastos dos visitantes associados ao atrativo.

Consolidação das perdas

As praias e dunas vegetadas da Ponta Negra realizavam a contenção de erosão costeira, mas foram progressivamente suprimidas pela expansão urbana. O processo de erosão costeira gerou perdas que se desdobram em danos e prejuízos, seja pela ação direta das ondas na infraestrutura construída, seja pela redução da atratividade e da capacidade de uso da praia. As três estimativas realizadas, portanto, configuram uma forma de valorar os serviços ecossistêmicos que deixaram de ser prestados. Englobam, assim:

- Danos materiais e prejuízos públicos, estimados a partir dos custos públicos incorridos em reconstrução, manutenção, estudos, monitoramento, obras de contenção e ações de adaptação à erosão costeira; e
- Prejuízos privados, estimados tanto pela parcela da renda turística que deixou de ocorrer como pela redução dos gastos realizados por visitantes que continuaram a frequentar a área, mas em condições inferiores de fruição.

A Tabela 10 apresenta a consolidação das estimativas de perdas, que somam R$ 266,97 milhões nos quinze anos considerados, ou seja, uma perda anual de R$ 17,80 milhões.

A maior dessas perdas corresponde aos custos públicos incorridos na reconstrução e adaptação da infraestrutura cinza (54,4% do total), seguida dos prejuízos privados por redução nos gastos turísticos (39,3%) e da renda turística não realizada (6,3%). Uma vez que a faixa de análise, correspondente a aproximadamente 2,8 km de praia e a uma largura de 50 m perpendicular à linha de costa, é de 14 hectares, pode-se estabelecer o valor dos serviços ecossistêmicos perdidos na Praia de Ponta Negra em R$ 1,27 milhão por hectare da faixa de análise por ano.

Tabela 10 - Estimativas de perdas dos serviços ecossistêmicos na Praia de Ponta Negra

R$ (preços de 2025)	Custos públicos de reconstrução e adaptação	Renda turística não realizada	Prejuízos privados por redução de gasto turístico
TOTAL (15 anos)	**145.296.500**	**16.799.318**	**104.877.841**
Média anual	**9.686.433**	**1.119.955**	**6.991.856**
2025	16.563.132	0	0
2024	57.856.932	514.296	14.223.885
2023	35.038.588	1.322.720	6.909.836
2022	683.693	2.129.463	1.341.630
2021	3.936.683	2.000.830	1.348.062
2020	1.990.508	1.873.877	13.544.094
2019	6.929.827	1.746.924	6.803.785
2018	2.108.427	1.620.026	1.367.102
2017	1.081.683	1.494.753	1.373.366
2016	1.729.031	1.364.440	13.798.813
2015	1.599.877	1.092.221	6.967.461
2014	0	819.947	1.407.106
2013	13.381.080	546.048	14.208.008
2012	2.397.040	273.773	14.344.146
2011	0	0	7.240.548

Importante destacar que as estimativas da renda não realizada e dos prejuízos privados tomam como base o valor estimado de gastos turísticos. Estes refletem, tão somente, as transações financeiras que ocorrem na praia, não sendo uma métrica adequada de utilidade recreativa, mas sim uma expressão mínima da relação comercial que ocorre no local ou é diretamente dependente dele. O valor expressa a renda territorial não realizada na área de influência do atrativo.

Como forma de evidenciar a diferença entre as métricas, pode-se tomar como exemplo o estudo de Abreu et al. (2008), que por meio da aplicação de 1,3 mil questionários, estimaram a utilidade recreativa da Praia da Avenida, em Maceió, entre R$ 35,6 e mais de R$ 55 milhões por mês. Trata-se de uma praia urbana e, tal como a Ponta Negra, um dos principais pontos turísticos da respectiva capital. Atualizando o valor mínimo do intervalo de valor de Abreu et al. pelo IPCA para preços de 2025, tem-se uma disposição a pagar de R$ 88,27 milhões por mês para a utilidade recreativa da praia alagoana, o que

é cerca de 7,2 vezes superior à métrica mensal de gastos turísticos da praia potiguar para o ano de 2025 (R$ 12,19 milhões).

3.2.3. Cobenefícios socioambientais

Serviços ecossistêmicos considerados para Ponta Negra

Além dos danos e prejuízos diretamente associados ao turismo e aos gastos públicos, a erosão e a redução da área de praia implicam perda de serviços ecossistêmicos ambientais e culturais que não são integralmente refletidos em transações de mercado. Para indicar a existência desses valores, foi realizada estimativa complementar por transferência de benefícios, com base em parâmetros de referência da Conservation International (CI, 2024) para o ambiente de praias e dunas vegetadas.

Dos serviços ecossistêmicos elencados pela CI (2024) para esse ambiente, os referentes à moderação de perturbações (associada à capacidade da faixa costeira de amortecer processos físicos adversos) e os associados à recreação e turismo, foram objeto de valoração específica para a Ponta Negra, como apresentado anteriormente (sintetizados na Tabela 10). A moderação de perturbações está refletida, ao menos em parte, nos gastos públicos de contenção, reconstrução e adaptação; já a recreação e o turismo estão diretamente representados nas estimativas de renda turística não realizada e de redução de gastos dos visitantes.

Os demais serviços que não se configuram em dupla contagem, portanto, são aqui apresentados, sendo considerados os agrupados em "ambientais" e "estéticos e culturais":

- Serviços ecossistêmicos ambientais: provisão de materiais, recursos genéticos e manutenção de fases importantes do ciclo de vida de espécies migratórias; e
- Serviços ecossistêmicos estéticos e culturais: relacionados à informação estética e à inspiração para a cultura.

A área de referência foi calculada a partir de 2,8 quilômetros lineares de praia e faixa média de 50 metros, totalizando 14 hectares. Os parâmetros originais, expressos em dólares de 2024 por hectare/ano, foram convertidos para reais de 2025 a partir da paridade de poder de compra, conforme metodologia descrita no capítulo 1. Para o conjunto de serviços ambientais, o valor indicado é de R$ 15,15 mil por ano (considerando a aplicação do valor unitário de R$ 1,08 mil/ha/ano aos 14 ha); já para o de valores estéticos e culturais, de R$ 17,16 mil por ano (considerando a aplicação do valor unitário de R$ 1,23 mil/ha/ano aos 14 ha). Na somatória dos 15 anos desde 2011, chegam em respectivos R$ 227,31 mil e R$ 257,34 mil, representando assim valores complementares e indicativos de dimensões não capturadas diretamente nas estimativas de renda, consumo turístico e custos públicos. Mesmo que a somatória destas externalidades (R$ 484 mil) não seja significativa em valor absoluto, demonstra que mesmo sob uma abordagem restrita e conservadora de valoração, existem valores ambientais e culturais que não aparecem nos orçamentos públicos nem na contabilidade privada do turismo.

3.2.4. Sensibilidade dos resultados

As estimativas para a Praia de Ponta Negra combinam registros administrativos (para os custos públicos) com reconstruções paramétricas (para os fluxos e os gastos turísticos). Enquanto os primeiros correspondem a dispêndios efetivamente liberados, os segundos dependem de premissas sobre a base de visitantes, o gasto diário e as frações de perda atribuíveis à erosão. Para avaliar a robustez dos resultados, foram realizados testes univariados, nos quais cada parâmetro é alterado isoladamente, mantendo-se os demais constantes, bem como alguns testes combinados, cujos resultados são apresentados na Tabela 11 e discutidos na sequência.

Tabela 11 - Testes de sensibilidade das perdas na Praia de Ponta Negra

Teste	Custos públicos	Renda não realizada	Prejuízos privados	Total	Variação	R$ milhões/ ha/ano
Cenário central	**145,30**	**16,80**	**104,88**	**266,97**	**-**	**1,27**
Frações de prejuízo pela metade	145,30	16,80	52,44	214,53	-19,6%	1,02
Frações de prejuízo em dobro	145,30	16,80	209,76	371,85	+39,3%	1,77
Frações calibradas pelo registro de 2013 (1/10)	145,30	16,80	10,49	172,58	-35,4%	0,82
Fração de 1% também em 2025	145,30	16,80	106,34	268,44	+0,5%	1,28
Renda não realizada de 10%	145,30	8,40	104,88	258,57	-3,1%	1,23
Renda não realizada de 40%	145,30	33,60	104,88	283,77	+6,3%	1,35
Gasto diário −25%	145,30	12,60	78,66	236,55	-11,4%	1,13
Gasto diário +25%	145,30	21,00	131,10	297,39	+11,4%	1,42
Fluxo calibrado pela estimativa aeroportuária	145,30	32,52	203,02	380,84	+42,7%	1,81
Sem dispêndios do ciclo da engorda (2023-2025)	35,84	16,80	104,88	157,52	-41,0%	0,75
Combinado inferior	35,84	8,40	52,44	96,68	-63,8%	0,46
Combinado superior	145,30	65,04	203,02	413,36	+54,8%	1,97

A premissa de maior influência entre as componentes turísticas é o conjunto de frações de redução do gasto, que determina os prejuízos privados (39,3% do total). Reduzir essas frações à metade diminui os prejuízos privados para R$ 52,44 milhões e o total para R$ 214,53 milhões (-19,6%); dobrá-las eleva o total para R$ 371,85 milhões (+39,3%). Em um cenário calibrado pela referência do registro municipal do evento de 2013, com frações correspondentes a um décimo das adotadas, os prejuízos privados cairiam para R$ 10,49 milhões e o total para R$ 172,58 milhões, ainda sustentado pelos custos públicos efetivamente incorridos. A atribuição da fração mínima de 1% também ao ano de 2025, em vez de sua exclusão, altera o total em apenas 0,5%.

A base de visitantes constitui a segunda fonte relevante de incerteza, mas opera em sentido assimétrico. Como a série reconstruída se restringe aos hóspedes da rede formal de hospedagem, o teste pertinente é o de sua ampliação. Calibrando-se o fluxo pela

estimativa derivada do movimento aeroportuário de 2024, que é cerca de 1,94 vez superior à série hoteleira, a renda não realizada e os prejuízos privados crescem na mesma proporção, e o total alcança R$ 380,84 milhões (+42,7%). Esse resultado deve ser lido como limite superior, dado que as chegadas aéreas incluem moradores e viajantes a negócios, mas indica a magnitude do valor associado aos visitantes hospedados fora da rede hoteleira, não incorporados ao cenário central. Já o gasto diário por visitante tem efeito simétrico: uma variação de ±25% no parâmetro de R$ 280,00 altera o total em ±11,4%. A parcela da renda turística não realizada atribuída à erosão, por sua vez, tem influência limitada: com 10% ou 40%, em vez de 20%, o total varia entre R$ 258,57 milhões e R$ 283,77 milhões.

Quanto aos custos públicos, o teste mais restritivo exclui os dispêndios de 2023 a 2025, associados ao ciclo da engorda da praia, reconhecendo que parte desse investimento restitui serviços de proteção que se estenderão no futuro, estando fora, portanto, do horizonte retrospectivo da análise. Nesse caso, os custos públicos passam de R$ 145,30 milhões para R$ 35,84 milhões, e o total para R$ 157,52 milhões (-41,0%), o que evidencia o peso da resposta de engenharia mais recente no resultado.

No cenário combinado inferior, que reúne frações de prejuízo reduzidas à metade, parcela de 10% da renda não realizada e exclusão do ciclo da engorda, as perdas totalizam R$ 96,68 milhões, ou R$ 0,46 milhão por hectare por ano da faixa de análise. No cenário combinado superior, com a base de visitantes calibrada pelo fluxo aéreo e parcela de 40% da renda não realizada, alcançam R$ 413,36 milhões, ou R$ 1,97 milhão por hectare por ano.

Os testes indicam que os custos públicos constituem um piso documental robusto do resultado, enquanto a ordem de grandeza das componentes turísticas depende sobretudo das frações que convertem a erosão em redução de gastos e da abrangência da base de visitantes. Como o cenário central considera apenas os hóspedes da rede formal de hospedagem, as incertezas associadas à base de visitantes operam predominantemente no sentido de elevar, e não de reduzir, as perdas estimadas. Mesmo no cenário mais restritivo, as perdas associadas à perda de funcionalidade do sistema praia-duna se aproximam de R$ 100 milhões em quinze anos, o que confirma a relevância econômica da infraestrutura natural da Ponta Negra independentemente das premissas mais incertas.

3.3. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência

Sob o referencial do Triplo Dividendo da Resiliência (Heubaum et al., 2022; Brandon et al., 2025), o conjunto de perdas estimado para a Praia de Ponta Negra pode ser organizado em camadas distintas de valor, o que permite explicitar quais dimensões da contribuição do sistema praia-duna foram efetivamente monetizadas e quais permanecem fora do escopo desta valoração. Assim como no caso de Salinópolis, a lógica do referencial é aqui aplicada de forma invertida: em vez de contabilizar os benefícios de uma intervenção que reduziria perdas futuras, evidencia-se o montante de perdas já associado à supressão progressiva da infraestrutura natural preexistente.

O primeiro dividendo, que são perdas evitadas, corresponde aos custos públicos incorridos em reconstrução, manutenção, estudos, monitoramento, obras de contenção e ações de adaptação à erosão costeira, que somaram R$ 145,30 milhões entre 2012 e 2025 (a preços constantes de 2025). Esses dispêndios se tornaram necessários justamente porque a infraestrutura urbana passou a substituir, ainda que parcialmente, as funções de dissipação de energia e de retenção sedimentar antes desempenhadas pelo sistema costeiro natural. Cabe notar que esses valores representam o custo de reposição efetivamente pago pela sociedade, e não a totalidade dos danos materiais ocorridos, uma vez que parte destes foi absorvida por agentes privados e não se encontra sistematizada em registros administrativos.

O segundo dividendo, que trata dos benefícios econômicos induzidos, está representado pelas duas estimativas de natureza turística. A renda turística não realizada, de R$ 16,80 milhões acumulados entre 2011 e 2025, expressa o crescimento da atividade que deixou de se materializar diante da retração da capacidade de hospedagem e da perda de atratividade do atrativo; já os prejuízos privados por redução de gasto turístico, de R$ 104,88 milhões no mesmo período, capturam o consumo que deixou de circular entre visitantes que continuaram a frequentar a praia, porém em condições inferiores de fruição. Ambos correspondem, no referencial do WRI, aos ganhos de previsibilidade, de segurança para investimentos e de sustentação de receitas que uma linha de costa funcional proporciona mesmo na ausência de eventos extremos, e que aqui se manifestam pela sua ausência.

Já o terceiro dividendo, que são os cobenefícios socioambientais, é apenas indicado, por meio da estimativa complementar por transferência de benefícios (totaliza R$ 484 mil ao longo dos quinze anos). Sua magnitude reduzida frente às demais camadas, todavia, não deve ser interpretada como baixa relevância para os serviços envolvidos, mas sim como reflexo da opção metodológica de valorar apenas os parâmetros específicos à tipologia praia-duna que não incorressem em dupla contagem com a moderação de perturbações, já refletida nos gastos públicos de contenção, e com a recreação e o turismo, já representados nas estimativas de renda e de consumo.

A leitura conjunta das três camadas totaliza R$ 267,46 milhões em quinze anos, ou R$ 17,83 milhões por ano (equivalentes a R$ 1,27 milhão por hectare por ano sobre os 14 hectares da faixa de análise). Esse valor se distribui entre o orçamento público, a economia do turismo e um conjunto de serviços ambientais e culturais cuja mensuração permanece parcial. Reforça-se, ainda, que dois vetores tendem a ampliar prospectivamente essas perdas: a necessidade recorrente de manutenção das obras de proteção, já sinalizada pela redução do volume original de areia da engorda concluída em 2025, e o agravamento dos perigos costeiros em contexto de elevação do nível relativo do mar e de mudança nos regimes de ondas e ressacas.

Conclusões

O valor estimado para os serviços ecossistêmicos de proteção costeira que foram perdidos na Praia de Ponta Negra é um balizador mínimo e retrospectivo, que não incorpora a totalidade dos efeitos da erosão sobre a biodiversidade, a imagem turística de Natal, a recreação, o valor imobiliário, os custos futuros de manutenção, as perdas de bem-estar dos moradores e turistas ou os possíveis impactos distributivos sobre

comerciantes e trabalhadores informais. Mesmo sob essas restrições, permite evidenciar que a erosão de uma praia urbana não é apenas uma questão de redução de faixa de areia ou de dano pontual à infraestrutura. O caso demonstra que praias e dunas funcionais são mais que elementos cênicos ou ambientais, mas também infraestrutura natural que sustenta uma parcela relevante da economia turística local e reduz a necessidade de gastos públicos recorrentes com respostas de engenharia.

4. Recifes costeiros em Paulista (PE)

Ficha-resumo

Ecossistema: Recifes costeiros

Município: Paulista, PE

Local: Praias de Janga e de Pau Amarelo

Área de análise: Faixa de praia de 2,91 km protegida por estruturas rígidas na Praia de Janga (5,62 ha de estruturas construídas).



Figura 6 - Área do estudo de caso na cidade de Paulista (PE), destacando a Praia de Janga (em amarelo), com estruturas artificiais de proteção costeira (em vermelho), e os recifes naturais paralelos à linha de costa presentes mais ao norte (em cinza), defronte à Praia de Pau Amarelo

Característica: Praia altamente urbanizada e sujeita a intenso processo erosivo, em contraste com trechos adjacentes protegidos pela presença de extensos recifes em franja paralelos à linha de costa.

Contextualização: O litoral de Paulista é caracterizado por uma orla altamente urbanizada e por apresentar uma das situações mais críticas de erosão costeira da Região Metropolitana do Recife. O município possui trechos costeiros com características contrastantes, incluindo praias desprovidas de recifes defronte à linha de costa, como a Praia de Janga, e praias associadas à presença de extensos recifes em franja paralelos à costa, como em Pau Amarelo. Os recifes costeiros desempenham importante papel na dissipação da energia das ondas e na modulação da dinâmica sedimentar, estando associados aos trechos que apresentam menor intensidade de erosão.

A Praia de Janga constitui um estudo de caso representativo para avaliar os custos e benefícios associados à conservação dos recifes costeiros em comparação com cenários de sua ausência e consequente maior exposição da linha de costa aos processos erosivos. A ocupação consolidada da faixa de pós-praia e a intensificação da erosão resultaram na implantação de extensas obras de proteção costeira ao longo de praticamente toda a linha de costa da praia, evidenciando a necessidade de investimentos em infraestrutura cinza em áreas desprovidas da proteção proporcionada pelos recifes.

4.1. Histórico socioambiental

Paulista é um município da Região Metropolitana do Recife, limítrofe a Olinda ao sul e a Abreu e Lima ao norte, com área territorial de aproximadamente 93,5 km^2 e cerca de 14 km de faixa litorânea, distribuída pelas praias de Enseadinha, Janga, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó, Conceição e Maria Farinha. O Censo de 2022 registrou 342.167 habitantes e densidade demográfica de 3,53 mil hab./km^2, uma das mais elevadas do estado, com estimativa populacional de 362.960 habitantes para 2024[51]. Historicamente estruturado em torno da indústria têxtil, o município reorganizou sua base produtiva ao longo das últimas décadas, passando a concentrar atividades de serviços, comércio e indústria química, com o turismo de sol e praia e o veraneio metropolitano exercendo papel crescente na dinâmica econômica da faixa litorânea, onde se concentram bares, restaurantes, quiosques, pousadas e comércio informal.

A relevância do caso de Paulista para o presente estudo, contudo, decorre menos de suas características socioeconômicas, mas sim da particularidade geomorfológica que permite isolar, com bastante razoabilidade, o valor econômico do serviço de proteção costeira prestado por recifes. Duas praias contíguas, submetidas ao mesmo clima de ondas, ao mesmo regime de marés, à mesma deriva litorânea e a padrões equivalentes de urbanização, diferem quanto ao atributo relevante da presença de recifes em franja em frente a Praia de Pau Amarelo e sua ausência em frente a Praia de Janga.

Contexto físico e oceanográfico

[51] Conheça Paulista. Prefeitura Municipal de Paulista (PE). Disponível em link.
Paulista (PE). IBGE, Cidades e Estados. Disponível em link.

O litoral de Paulista se insere no trecho central da costa de Pernambuco, entre os estuários dos rios Timbó e Jaboatão-Pirapama. A planície costeira é estreita, com menos de 10 km de largura e cota média em torno de 4 metros, formada por depósitos arenosos alinhados na direção NNE-SSO e marcada por extensos alinhamentos de arenitos de praia (*beachrocks*) e recifes costeiros que, historicamente, atuaram como importantes elementos na dissipação da energia das ondas e na modulação do balanço sedimentar. Do ponto de vista oceanográfico, a região apresenta marés semidiurnas de meso-amplitude, da ordem de 2 m em sizígia, alturas significativas de onda tipicamente entre 0,7 e 1,4 m, com eventos de inverno que podem alcançar 4,3 m de altura e períodos de até 17 s, e deriva litorânea predominantemente dirigida para norte, o que favorece o transporte de sedimentos ao longo da costa e a formação de células de circulação que influenciam diretamente a estabilidade das praias de Janga e de Pau Amarelo (Mallmann, 2016).

Diferentemente do litoral amazônico de Salinópolis, onde o risco decorre da combinação entre marés de grande amplitude e chuvas intensas, e do litoral potiguar de Ponta Negra, onde a erosão avança sobre uma orla turística consolidada, o perigo predominante em Paulista é a erosão costeira progressiva associada a eventos de alta energia. Conforme Mallmann (2016), esses eventos resultam tipicamente da intensificação da componente sul dos ventos, da coincidência entre marés de sizígia e ressacas e do aumento da potência de onda, muitas vezes potencializados por fases de La Niña. Cada episódio promove perda de volume de areia, rebaixamento do perfil praial e recuo da linha de costa em escalas de horas a dias, configurando uma erosão episódica de curto prazo que, superposta a tendências estruturais de médio e longo prazo, resulta em perda líquida de faixa de areia.

O processo erosivo no litoral de Paulista

O litoral central da Região Metropolitana do Recife não se comporta de forma homogênea, sendo que alguns segmentos apresentam erosão intensa, mas outros são estáveis e ainda outros apresentam acresção. Nesse mosaico, Paulista se destaca como o município mais afetado pelo primeiro caso, com taxas de retração da linha de costa que atingem valores da ordem de 1 m por ano em trechos das praias de Pau Amarelo, Janga e Enseadinha (Mallmann et al., 2014). A esse quadro, soma-se a elevação do nível médio relativo do mar na região, estimada em cerca de 5,2 mm por ano nas últimas décadas, que amplia progressivamente a lâmina d'água sobre as feições recifais e, por consequência, a energia que alcança a linha de costa[52].

Nesse contexto, o componente antrópico é igualmente decisivo, pois a ocupação irregular da faixa de pós-praia, em conjunto com a impermeabilização da orla e com a implantação de sucessivas obras rígidas, reduziu progressivamente o espaço de acomodação natural das praias. Ao encurtar a faixa de areia disponível para a migração do perfil durante eventos de alta energia, essas intervenções aumentam a vulnerabilidade de calçadas, ruas e edificações, expondo diretamente o tecido urbano à energia das ondas. Simulações de perfis praiais conduzidas por Mallmann (2016) para Paulista, indicam que, mesmo sob cenários relativamente frequentes, com períodos de retorno de 5

[52] *Avanço do mar ameaça casas e praias no Grande Recife enquanto litoral perde proteção natural.* Diário de Pernambuco, 29 mai. 2025. Disponível em link.

a 10 anos, os perfis analisados não apresentam resiliência suficiente para absorver as oscilações energéticas impostas por ondas e níveis d'água, sofrendo alterações consideráveis sobretudo nas áreas mais densamente ocupadas. Trata-se, portanto, menos de um colapso súbito da linha de costa e mais de um processo cumulativo de perda de capacidade de ajuste.

O papel dos recifes e o contraste entre Janga e Pau Amarelo

Em frente à Praia de Pau Amarelo ocorrem recifes em franja descontínuos, posicionados entre 300 e 700 m da linha de costa, que condicionam a batimetria local e produzem padrões de refração e difração das ondas incidentes. A literatura sobre ambientes recifais do litoral pernambucano demonstra que praias abrigadas por recifes recebem energia de onda substancialmente menor do que praias expostas, com reduções da ordem de 50% na energia incidente, e apresentam menor troca líquida de sedimentos ao longo do tempo, comportando-se de forma dissipativa durante a preamar (Martins, 2020). A eficácia dessa proteção, contudo, depende da profundidade e da integridade geomorfológica da feição. Nos locais onde o topo recifal permanece raso, cerca de 0,5 m abaixo do nível de maré baixa, quase toda a energia é dissipada na borda externa; já onde a estrutura se encontra a profundidades da ordem de 4 m, a dissipação passa a ocorrer sobretudo por atrito no fundo, permitindo que ondas maiores atinjam diretamente a praia.

Sob o enquadramento conceitual dos serviços ecossistêmicos, a atenuação da energia das ondas pelos recifes não constitui apenas um processo hidrodinâmico, mas uma função ecossistêmica que se converte em serviço de regulação de proteção costeira. Deste serviço derivam benefícios concretos apropriados por grupos sociais identificáveis, tais como os moradores e proprietários de imóveis da orla, que se beneficiam da redução do risco de erosão, inundação e perda patrimonial; prestadores de serviços de turismo e comércio de praia, cuja atividade depende da manutenção da faixa de areia e da acessibilidade da orla; e frequentadores e visitantes, que usufruem de condições mais favoráveis de recreação (Martins, 2020). É justamente essa cadeia (função, serviço, benefício e beneficiário) que a valoração desenvolvida no item seguinte busca traduzir em termos monetários.

A Praia de Janga, por sua vez, não conta com essa infraestrutura natural. Diante do mesmo forçamento hidrodinâmico e de pressão de ocupação, a resposta ali adotada foi a substituição da função protetora ausente por sucessivas gerações de obras de engenharia, em contraste que confere ao caso a condição de quase-experimento natural. A trajetória de intervenções nessa orla é longa, sobreposta e realizada com diferentes tecnologias, com os registros de intervenções iniciados em 1998, junto ao primeiro convênio federal para contenção do avanço do mar no município, trajetória cujos efeitos sobre a linha de costa foram avaliados por Madruga Neto (2022).

Ao longo das décadas de 1990 e 2000, foram implantados espigões, quebra-mares e intervenções de engorda artificial, distribuídos por diferentes pontos da linha de costa, sempre com o objetivo de interceptar e dissipar a energia das ondas e estabilizar trechos específicos da praia. Essas intervenções, contudo, produziram efeitos morfológicos adversos. Mallmann et al. (2014) registram, para o setor dos quebra-mares das praias de Janga e de Enseadinha, a ocorrência de pontos de afloramento do lençol

freático nas baías formadas entre estruturas consecutivas, padrão associado à criação de zonas erosivas localizadas e confirmado pela análise do deslocamento da linha de costa. Os mesmos autores observam que, no litoral da Região Metropolitana do Recife, as obras de fixação da linha de costa frequentemente transferem a erosão para as praias adjacentes.

Martins (2015) chega a diagnóstico convergente, ao concluir que as obras executadas em Paulista garantem a proteção da infraestrutura urbana, mas não conservam a praia, e que a alteração da circulação no trecho dos quebra-mares propiciou o desenvolvimento de tômbolos e de pequenas baías com circulação reduzida. Relatos técnicos de monitoramento das obras acrescentam que, após a execução dessas estruturas, quatro trechos da orla intervencionada passaram a apresentar processo erosivo acentuado ao longo de aproximadamente 0,7 km, ao mesmo tempo em que se observou a transferência do processo erosivo para a praia vizinha de Pau Amarelo, ao longo de cerca de 4 km, no denominado efeito dominó (Martins, 2015; Madrugada Neto, 2022).

No início da década de 2010, a Prefeitura de Paulista lançou um projeto mais amplo de recuperação da orla de Janga, com cinco paredões de concreto enterrados, de comprimento entre 100 e 200 m e altura total próxima de 5 m, dos quais apenas cerca de 0,8 m permaneceriam expostos, implantados em cinco trechos críticos e executados com apoio de ensecadeiras de pedra. O projeto previa investimento de R$ 14,7 milhões, cerca de 140,2 mil m^3 de areia para engorda e 6,2 mil m^3 de pedras, com a expectativa de ampliar em aproximadamente 10 m a largura da faixa de areia nos trechos tratados[53]. O mesmo projeto já antecipava a perda de até 40% desse volume de areia em cinco anos, o que implicaria a necessidade de duas manutenções de grande porte por década, parâmetro que fundamenta, no item de valoração, a estimativa do custo operacional das estruturas.

Entre dezembro de 2013 e o início de 2014, uma tecnologia específica de contenção também passou a ser empregada - o dissipador de energia do tipo Barra Mar *Bagwall*, estrutura em forma de arquibancada composta por sacos biodegradáveis preenchidos com concreto e dispostos em degraus voltados para o mar. Na Praia de Janga, a intervenção abrangeu cinco pontos críticos ao longo de cerca de 1,2 km[54], executada em quatro etapas sucessivas, com trechos de 210 m, 215 m e 150 m[55]. Simultaneamente, a mesma técnica foi aplicada em 2 km de orla entre Pau Amarelo e Nossa Senhora do Ó, ao custo aproximado de R$ 14,3 milhões[56]. Em 2021, a Prefeitura reportava 3,4 km de orla municipal protegidos por *bagwall*, com investimento acumulado da ordem de R$ 28 milhões em convênio com o Governo Federal[57].

A estratégia de contenção rígida permaneceu ativa nos anos seguintes, sendo que em maio de 2024, a Prefeitura executou a implementação de enrocamento aderente, composto por blocos de rocha granítica de tamanhos variados encaixados entre si, no

[53] *Uma nova orla até dezembro*. Marco Lyra, 19 abr. 2012. Disponível em link.
[54] *Começa engorda da praia no Janga, em Paulista (PE)*. Marco Lyra, 03 dez. 2013. Disponível em link.
[55] *Obras de contenção do avanço do mar no Janga chegam à terceira etapa*. Prefeitura de Paulista, 17 mar. 2014. Disponível em link.
[56] *Paulista injeta R$ 10 mi na conclusão da obra de contenção do avanço do mar em Pau Amarelo*. Prefeitura de Paulista, 04 fev. 2014. Disponível em link.
[57] *Investimentos em infraestrutura urbana tornam Paulista uma cidade cada vez melhor para se viver*. Prefeitura de Paulista, 28 jul. 2021. Disponível em link.

trecho compreendido entre as ruas Betânia e Cabedelo, na Praia de Janga[58]. Em dezembro de 2025, o Governo Federal reconheceu nova situação de emergência por erosão costeira no município, tendo a Secretaria de Infraestrutura identificado seis pontos emergenciais distribuídos pelos bairros de Janga, Pau Amarelo, Nossa Senhora do Ó, Conceição e Maria Farinha, com plano de trabalho estimado em cerca de R$ 26 milhões[59]. Em agosto de 2026, o colapso de parte do calçadão de Janga, especialmente na Avenida João Fonseca de Albuquerque após chuvas intensas, motivou nova intervenção emergencial, enquanto permanecia em tramitação o projeto de recuperação dos cinco trechos críticos, somando aproximadamente 2 km de orla[60].

Embora os proponentes da tecnologia *bagwall* atestaram que as estruturas cumpriram seu papel de conter o recuo da linha de costa sem transferir o processo erosivo para áreas adjacentes, essa avaliação diverge do diagnóstico da literatura acadêmica referida adiante[61]. Para os fins desta valoração, a controvérsia é secundária, haja vista que o que se contabiliza é o dispêndio efetivamente realizado, independentemente do grau de sucesso técnico alcançado.

Registros oficiais de desastres por erosão costeira

A recorrência do processo erosivo está documentada na base federal de desastres (S2iD), que reúne quatorze registros classificados sob a tipologia erosão para o município de Paulista entre 2000 e 2021, dos quais seis obtiveram reconhecimento federal de situação de emergência, nos anos de 2007, 2008, 2009, 2012, com dois eventos, e 2013. A série evidencia que o avanço do mar sobre a orla urbana não constitui episódio isolado, mas sim um processo contínuo, que se manifesta em eventos sucessivos ao longo de mais de duas décadas.

Os registros documentam danos crescentes tanto à infraestrutura urbana quanto às edificações privadas. O evento de setembro de 2007, por exemplo, reportou vinte obras de infraestrutura danificadas, além de prejuízos aos sistemas públicos de abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e distribuição de energia. Em agosto de 2011, foram registradas 66 unidades habitacionais danificadas, 22 pessoas desalojadas e cerca de 3,6 mil afetados. Em agosto de 2012, o número de outros afetados alcançou 35.568 pessoas, com 48 unidades habitacionais danificadas. O registro de maio de 2013 reportou 500 unidades habitacionais danificadas, cinco destruídas, vinte desabrigados em razão de interdição e sete estabelecimentos comerciais destruídos, destacando ainda a ameaça ao Forte de Pau Amarelo, patrimônio histórico nacional, junto ao qual a maré de preia-mar passou a se situar a apenas dezesseis metros da edificação.

Os registros mais recentes explicitam a relação entre o processo erosivo e o desempenho das estruturas rígidas implantadas. O registro de abril de 2020 identifica quatro trechos afetados, abrangendo 214 edificações e cerca de 856 pessoas diretamente

[58] *Obra da Prefeitura do Paulista previne avanço da erosão costeira no Janga*. Prefeitura de Paulista, 23 mai. 2024. Disponível em link.
[59] *Governo federal reconhece emergência por erosão costeira em dois municípios de Pernambuco*. Jornal do Commercio, 11 dez. 2025. Disponível em link.
[60] *Prefeitura de Paulista faz intervenção emergencial na orla do Janga*. Folha de Pernambuco, 04 ag. 2026. Disponível em link.
[61] *Bagwall contém erosão costeira nas praias do Janga e Pau Amarelo*. Marco Lyra, 19 jun. 2015. Disponível em link.

prejudicadas, além de 13.230 m^2 de vias urbanas danificadas. O registro de maio do mesmo ano trata expressamente da recuperação e substituição de trechos da estrutura de contenção nas orlas de Janga e de Pau Amarelo, apontando como principal prejuízo público o comprometimento da obra de contenção existente, cujo colapso oferece risco iminente a todo o trecho afetado; nesse mesmo registro, os prejuízos privados foram estimados a partir do faturamento de bares e restaurantes, da taxa de ocupação de leitos e da atividade de transporte e turismo receptivo. Por fim, o registro de outubro de 2021 documenta a queda do *bagwall*, com onze unidades habitacionais destruídas, danos à Avenida Litorânea, aos postes de iluminação, às tubulações de drenagem e aos assentos de concreto da orla de Janga, além do desalojamento de 24 pessoas.

Primeiramente, esse conjunto de registros comprova a materialidade e a recorrência do processo erosivo na orla desprovida de proteção recifal. Segundo, demonstra que as estruturas rígidas implantadas não eliminaram a exposição ao risco, tendo elas próprias se tornado objeto de dano, colapso e necessidade de substituição, o que justifica a incorporação dos danos e prejuízos remanescentes como linha autônoma de valoração. Por fim, evidencia que o município trata as orlas de Janga e de Pau Amarelo como um sistema único de intervenção, com decretos, obras e prestações de contas que atravessam ambas as praias, condição que fundamenta os critérios de rateio adotados adiante.

A transferência da erosão para Pau Amarelo e os limites deste estudo de caso

Um último elemento do histórico exige tratamento explícito, por delimitar o que este estudo de caso mede e o que deixa de medir. Há evidências consistentes de que as obras rígidas implantadas na Praia de Janga, desde a década de 1990, alteraram o padrão de circulação e de transporte litorâneo, contribuindo para o agravamento do processo erosivo em segmentos a jusante, notadamente em Pau Amarelo (Mallmann, 2016). Estudos de vulnerabilidade conduzidos para o litoral pernambucano identificam Pau Amarelo como caso emblemático em que a circulação em duas células, a intensificação da corrente litorânea dirigida para norte e um provável déficit sedimentar decorrente de obras de proteção a montante explicam a persistência da erosão, com retrogradação da linha de costa de até 15 m em determinadas porções e praticamente ausência de pós-praia, apesar da proteção recifal (Martins, 2015). A fixação da linha de costa por estruturas em degraus é apontada como fator adicional de agravamento, por refletir as ondas incidentes durante as marés altas e intensificar a perda de sedimentos costa afora.

Do ponto de vista da análise econômica, essas despesas de contenção em Pau Amarelo poderiam ser tratadas como externalidades espaciais negativas das estratégias de proteção adotadas em Janga, ampliando o custo social da opção por infraestrutura cinza. Não obstante, optou-se por não as incorporar à valoração, uma vez que:

- Diferentemente de Salinópolis e de Natal, onde se valoram as consequências da supressão de um ecossistema preexistente, o que aqui se mede é o valor de um recife que existe e segue prestando seu serviço. O objeto da valoração é o serviço ecossistêmico de Pau Amarelo, não a avaliação da eficiência das obras do Janga;
- A Praia de Janga não dispõe de recifes por condição geomorfológica, e não por decisão antrópica; não há, portanto, um ecossistema suprimido cuja perda se possa atribuir a uma decisão local. Tratar os custos de Pau Amarelo como consequência do Janga exigiria uma cadeia de imputação causal que extrapola o

desenho do quase-experimento e envolve intervenções de escala metropolitana, incluindo a alteração da deriva litorânea associada às obras portuárias do Recife; e

- A incorporação de custos consequentes exigiria arbitrar frações de causalidade em um sistema com múltiplos forçantes naturais e antrópicos sobrepostos, elevando a estimativa às custas de sua robustez.

Vale registrar, ainda assim, o argumento de fundo que o caso ilumina (mesmo que a valoração não capture): diante da ausência de recifes, a Praia de Janga poderia ter adotado estratégias que preservassem espaço de acomodação para a dinâmica costeira, evitando o *coastal squeeze* produzido pela fixação rígida da linha de costa. A trajetória efetivamente seguida foi a oposta, e seus efeitos se propagaram para além dos limites da própria praia.

4.2. Valoração dos serviços ecossistêmicos

4.2.1. Abordagem e base de estimação

Diferentemente de Salinópolis e de Natal, nos quais a valoração parte de um ecossistema suprimido e reconstrói retrospectivamente as perdas decorrentes de sua ausência, o caso de Paulista se estrutura sobre um contraste espacial, dado que recifes em franja ocorrem naturalmente em frente à Praia de Pau Amarelo, mas não em frente à Praia de Janga, situada no mesmo município, submetida ao mesmo regime de ondas, marés e ventos, e com padrão de ocupação urbana equivalente.

Essa configuração constitui um quase-experimento natural, no qual a praia desprovida de barreira recifal precisou ser protegida por sucessivas obras de engenharia, ao passo que a praia protegida pelos recifes prescindiu, por décadas, desse tipo de investimento. A valoração aqui desenvolvida explora essa assimetria por meio de três linhas complementares, coerentes com o repertório metodológico apresentado no item 1.4:

- O custo de reposição, estimado pelos dispêndios públicos efetivamente incorridos com a implantação e a manutenção de estruturas rígidas de proteção na orla de Janga entre 1998 e 2025, que funcionam como proxy monetário do serviço de proteção costeira que os recifes prestam gratuitamente em Pau Amarelo;
- Os danos e prejuízos remanescentes, estimados a partir dos registros oficiais de desastres por erosão costeira sistematizados na base federal S2iD, que capturam as perdas que persistiram apesar das obras implantadas; e
- Os cobenefícios socioambientais, estimados por transferência de benefícios a partir dos parâmetros específicos para a tipologia recifal sistematizados pela Conservation International (CI, 2024), aplicados a uma área de recifes equivalente hipotética para a Praia de Janga.

O horizonte de análise adotado é de 28 anos, compreendendo o período entre 1998, ano do primeiro convênio federal identificado para contenção do avanço do mar no município, e 2025, ano-base do estudo. Todos os valores são expressos a preços constantes de 2025, sendo os dispêndios com obras atualizados pelo INCC e os valores de danos e

prejuízos pelo IPCA. Cabe, ainda, uma ressalva importante: a adoção do custo de reposição como proxy não implica que as obras executadas na Praia de Janga tenham reposto integralmente a função recifal, nem que tenham sido eficazes. Ao contrário, como foi demonstrado no item anterior, há indícios técnico-científicos que as estruturas rígidas ali implantadas alteraram o transporte sedimentar longitudinal e contribuíram para o agravamento do processo erosivo em trechos adjacentes, inclusive na própria Praia de Pau Amarelo, ainda que esta conte com proteção recifal natural. O custo de reposição deve, portanto, ser lido como o dispêndio mínimo que a sociedade aceitou incorrer na tentativa de substituir a proteção natural, e não como o preço de um substituto funcionalmente equivalente. É precisamente essa insuficiência que justifica a inclusão da segunda linha de valoração, pois mesmo após quase três décadas de obras, os danos e prejuízos não cessaram.

4.2.2. Custo de reposição das obras de proteção na Praia de Janga

Instrumentos identificados e critério de alocação temporal

A reconstrução dos dispêndios públicos seguiu o mesmo procedimento adotado em Ponta Negra, apoiando-se em dois registros administrativos complementares: os instrumentos celebrados entre o Governo Federal e o Município de Paulista, consultados no Portal de Convênios Federais (op. cit.), e os empenhos e ordens bancárias de contrapartida municipal, consultados no Portal da Transparência da Prefeitura de Paulista[62]. Em ambos os casos, foram considerados os valores efetivamente liberados, nas datas em que o foram, e não os montantes globais originalmente celebrados (Tabela 12).

Tabela 12 - Instrumentos federais identificados para obras de proteção costeira em Paulista

Instrumento	Vigência	Objeto	Valor liberado (R$ correntes)	Alocação temporal
Convênio 346425	1998-1999	Contenção do avanço do mar nas praias de Enseadinha e Janga	6.000.000	Média anual em 2 anos
Convênio 377323	1999-2003	Obras de contenção do avanço do mar em Paulista/PE	18.500.000	Média anual em 5 anos
Convênio 465272	2001-2007	Projeto de recuperação de 4,0 km da orla	13.370.000	Média anual em 7 anos
Convênio 557270	2006-2009	Obras de macrodrenagem e contenção do avanço do mar	5.167.836	Desembolsos anuais identificados
Convênio 702018	2009-2017	Obras de proteção das estruturas de contenção do avanço do mar	13.280.158	Desembolsos anuais identificados
Termo de Compromisso 674807	2013-2015	Serviços emergenciais de recuperação do cenário de desastre	14.371.066*	Desembolsos anuais identificados

* Dos quais, 31,8% são atribuídos à Praia de Janga, correspondentes a 2,91 ÷ (2,91 + 6,23) km.

[62] Portal da Transparência, Controladoria Geral do Município de Paulista (PE). Disponível em link.

Nos instrumentos mais recentes (nº 557270, nº 702018 e nº 674807), foi possível identificar o detalhamento das transferências ano a ano, permitindo alocar cada desembolso em seu respectivo exercício. Já nos convênios mais antigos, não há desmembramento anual disponível; para estes, o valor total liberado foi distribuído em média anual ao longo dos anos de vigência do instrumento. O convênio nº 377323, por exemplo, teve R$ 18,50 milhões liberados entre 1999 e 2003, resultando em alocação de R$ 3,70 milhões em cada um dos cinco exercícios. Sempre que identificadas contrapartidas municipais nos documentos consultados, estas foram somadas mediante rateio proporcional aos desembolsos federais do respectivo instrumento, procedimento que busca reproduzir da forma mais fiel possível a distribuição temporal efetiva do esforço fiscal.

Nota-se que o Termo de Compromisso nº 674807 recebeu tratamento específico, pois o instrumento, celebrado em 14 de junho de 2013, ocorreu um mês após o reconhecimento federal do evento erosivo de 12 de maio daquele ano. No registro do evento no S2iD (op. cit.), tanto a Praia de Janga quanto a Praia de Pau Amarelo foram contempladas no pacote emergencial que incluiu a construção de muro de contenção de 200 metros na faixa de areia, recuperação de trecho do calçadão e recuperação da malha viária. Adotou-se, por essa razão, a atribuição de 31,8% do valor liberado à Praia de Janga, fração que corresponde à participação dessa praia na extensão total de orla contemplada pelo pacote emergencial. A extensão da Praia de Janga protegida por infraestrutura cinza é de 2,91 km, enquanto a extensão linear de costa protegida por recifes nas adjacências de Pau Amarelo é de 6,23 km; a fração resulta, assim, da razão entre a primeira e a soma de ambas. Com esse critério, dos R$ 14,37 milhões liberados no instrumento, R$ 4,57 milhões (valores correntes) foram atribuídos à Praia de Janga. Nota-se que esse rateio difere da proporção empregada na definição da área recifal equivalente (item 4.2.4), pois naquele caso a extensão da Praia de Janga é comparada apenas à extensão protegida por recifes, e não à soma das duas.

Estimativa dos custos de operação e manutenção

As consultas ao Portal da Transparência municipal não retornaram registros de despesas correntes de operação e manutenção das estruturas de proteção, ainda que estas necessariamente existam. Optou-se, portanto, por estimá-las de forma paramétrica, a partir de um custo operacional anual equivalente a 2% do Capex dos dissipadores tipo *bagwall*, cujo investimento total, incluindo contrapartida municipal, alcançou R$ 14,01 milhões correntes. O parâmetro reflete a evidência técnica de que estruturas desse tipo demandam ao menos duas intervenções de manutenção de grande porte por década, sendo os 2% anuais o rateio equivalente desse esforço. O Opex foi aplicado a partir de 2016, primeiro exercício subsequente à conclusão das intervenções, somando R$ 3,89 milhões a preços de 2025 no período 2016-2025.

Consolidação dos dispêndios

Os dispêndios públicos identificados com a proteção costeira da Praia de Janga somam R$ 278,54 milhões a preços constantes de 2025 ao longo de 28 anos, equivalentes a uma média de R$ 9,95 milhões por ano. A distribuição temporal é fortemente concentrada no início do ciclo, entre 1998 e 2004, no qual 70% dos dispêndios ocorreram devido à implantação dos espigões e quebra-mares. O segundo ciclo de investimentos, correspondente aos paredões de concreto enterrados e aos dissipadores *bagwall*, concentra-

se entre 2013 e 2015, e a partir de 2016 predominam os custos estimados de manutenção. Distribuído pelos 5,62 hectares efetivamente ocupados pelas estruturas rígidas implantadas na orla de Janga, esse esforço equivale a um custo anualizado de R$ 1,77 milhão por hectare para a implantação e manutenção da infraestrutura cinza, métrica que dimensiona a intensidade de capital exigida pela solução convencional de proteção costeira. A Tabela 13 apresenta os dispêndios públicos com obras de proteção costeira atribuídos à Praia de Janga.

Tabela 13 - Dispêndios públicos com obras de proteção costeira atribuídos à Praia de Janga

R$ (preços de 2025)	Capex	Opex	Total
Total (28 anos)	**274.665.132**	**3.889.281**	**278.554.413**
Média anual	**9.809.469**	**138.903**	**9.948.372**
2019 a 2025	0	2.472.988	2.472.988
2012 a 2018	34.598.738	1.416.293	36.015.031
2005 a 2011	45.902.538	0	45.902.538
1998 a 2004	194.163.856	0	194.163.856

A sensibilidade do resultado à fração de atribuição do Termo de Compromisso nº 674807, incluindo sua exclusão e sua atribuição integral à Praia de Janga, é apresentada no item 4.2.6, junto aos demais testes de sensibilidade do caso.

4.2.3. Danos e prejuízos remanescentes

As obras de engenharia implantadas na orla de Janga não eliminaram a exposição ao risco, como a consulta à base federal de desastres demonstra. Foram quatorze registros classificados sob a tipologia erosão (Cobrade 11410) para o município de Paulista entre 2000 e 2021, dos quais seis obtiveram reconhecimento federal de situação de emergência. Esses registros documentam danos a unidades habitacionais, a instalações públicas prestadoras de serviços e à infraestrutura urbana, além de prejuízos decorrentes da interrupção de serviços públicos e da paralisação de atividades econômicas privadas. Para incorporar essas perdas à valoração, foram adotados três critérios de recorte, orientados pelos princípios de não duplicidade (itens 1.2 e 1.4.2):

- Exclusão dos danos a obras de infraestrutura: Os valores reportados nessa categoria correspondem, em sua maior parte, às próprias estruturas de contenção danificadas ou colapsadas e ao viário costeiro reconstituído com os mesmos recursos federais já contabilizados no item anterior. Sua inclusão implicaria dupla contagem direta com o custo de reposição. Trata-se da maior parcela dos registros, integralmente descartada.
- Manutenção dos danos a edificações e dos prejuízos públicos e privados: Essas categorias capturam perdas que recaem sobre moradores, comerciantes e sistemas urbanos, e que não se confundem com o investimento em obras. Correspondem a danos a unidades habitacionais e a instalações de serviços, a prejuízos públicos por interrupção de abastecimento de água, esgotamento sanitário,

limpeza urbana, energia e telecomunicações, e a prejuízos privados no comércio e nos serviços.

Os registros do S2iD são municipais e, salvo menções pontuais, não discriminam a praia afetada. Aplicou-se, portanto, o mesmo critério de extensão linear adotado para o Termo de Compromisso nº 674807, atribuindo à Praia de Janga 31,8% das perdas registradas. O critério pode ser visto como conservador, pois os registros de maio de 2020 e de outubro de 2021 mencionam expressamente a orla dessa praia e o colapso do *bagwall* ali existente, o que justificaria atribuição superior nesses anos específicos. A Tabela 14 apresenta os resultados, ao longo dos anos, expressos a preços de 2025.

Tabela 14 - Danos e prejuízos por erosão costeira atribuídos à Praia de Janga

R$ (preços de 2025)	Danos a edificações	Prejuízos públicos	Prejuízos Privados	Perdas Totais
Total (28 anos)	**57.817.360**	**4.098.907**	**8.230.302**	**70.146.569**
Média anual	**2.064.906**	**146.390**	**293.939**	**2.505.235**
2021	569.491	7.593	103.544	680.628
2020	30.084.122	0	5.047.072	35.131.194
2013	3.537.173	325.420	1.414.869	5.277.462
2012	1.045.063	752.445	176.914	1.974.422
2011	1.065.125	921.495	139.596	2.126.216
2009	0	529.951	142.389	672.340
2008	0	522.375	140.354	662.729
2007	0	618.566	960.298	1.578.864
2001	17.544	421.062	105.266	543.872
2000	21.498.842	0	0	21.498.842

As perdas atribuíveis à Praia de Janga somam R$ 70,15 milhões ao longo do período (a valores de 2025), equivalentes a uma média de R$ 2,51 milhões por ano quando distribuídas pelos 28 anos do horizonte de análise. Os danos a edificações respondem por 82% do total, seguidos dos prejuízos privados (12%) e dos públicos (6%). Dois anos concentram a maior parte do resultado: 2000, em razão do elevado número de unidades habitacionais danificadas e destruídas no primeiro registro da série, e 2020, quando o foram reportados quatro trechos de orla afetados, 214 edificações danificadas e prejuízos ao comércio e aos serviços estimados a partir do faturamento de bares e restaurantes, da ocupação de leitos e da atividade de transporte e turismo receptivo.

Ressalta-se que essa estimativa é necessariamente parcial, pois os registros do S2iD dependem da iniciativa e da capacidade técnica municipal de reportar adequadamente os valores envolvidos, apresentam lacunas em diversos anos da série e não capturam perdas difusas, como a desvalorização imobiliária, a redução do uso recreativo ou os custos privados de adaptação assumidos pelos proprietários. Assim como no caso de Ponta Negra, o valor obtido deve ser interpretado como um piso, e não como a totalidade das perdas suportadas pela sociedade local.

4.2.4. Cobenefícios socioambientais

Serviços ecossistêmicos considerados para os recifes de Paulista

Os dispêndios com infraestrutura cinza e as perdas remanescentes capturam apenas a dimensão protetora dos recifes. Essas estruturas naturais entregam, além de proteção, um conjunto notoriamente amplo de serviços que nenhuma estrutura de engenharia reproduz e que constituem, neste caso, uma parcela expressiva do valor econômico. Para estimá-los, aplicou-se o método de transferência de benefícios a partir dos parâmetros específicos para a tipologia recifal sistematizados pela Conservation International (CI, 2024), seguindo a rotina padronizada de atualização dos valores de dólares de 2024 para 2025 e conversão para reais pela paridade de poder de compra (item 1.4.1).

Da matriz de serviços atribuídos aos recifes de coral, foram excluídos por dupla contagem a moderação de distúrbios (US$ 17.309,15/ha/ano) e a prevenção da erosão (US$ 791,30/ha/ano), uma vez que ambos correspondem à função de proteção já valorada pelo custo de reposição e pelas perdas remanescentes apresentados nos itens anteriores. Os demais serviços, elegíveis à valoração, foram agrupados nas categorias abaixo:

- Serviços ecossistêmicos ambientais: recursos genéticos, regulação climática e manutenção de fases importantes do ciclo de vida de espécies migratórias;
- Provisão direta de alimentos, associada ao autoconsumo das comunidades costeiras;
- Diversidade genética (biodiversidade);
- Turismo recreativo;
- Pesca comercial e recreativa;
- Pesquisa e educação; e
- Valores de não uso.

Nota-se que, dentre os serviços ecossistêmicos apresentados por CI (2024) para os recifes, o referente ao tratamento de resíduos (o mais elevado da matriz, em US$ 68.971/ha/ano) não foi considerado, pois requer pressupor que o ecossistema receba, retenha e processe cargas de nutrientes e poluentes, poupando a sociedade do custo de tratá-las por meios artificiais. Nos recifes de coral, essa relação é, em boa medida, inversa, pois o aporte de esgoto não tratado, de nutrientes e de sedimentos finos constitui um dos principais vetores documentados de degradação recifal, associado à eutrofização, ao aumento da turbidez, à redução da penetração luminosa e ao branqueamento. Tampouco há, na orla de Janga ou de Pau Amarelo, sistema de tratamento cujo dimensionamento, operação ou custo dependa da presença ou da ausência da barreira recifal.

Uma vez que os valores unitários dos serviços ecossistêmicos se referem exclusivamente a serviços prestados por recifes, e que não há recifes em frente à Janga, a aplicação da transferência de benefícios exige a definição de uma área recifal equivalente hipotética, coerente com a lógica do quase-experimento natural entre as praias de Paulista. Foram mensurados, por interpretação de imagens de satélite em ambiente SIG, os quatro principais blocos recifais situados nas adjacências da Praia de Pau Amarelo, que totalizam 158,70 hectares. Considerando que a extensão linear protegida é de

aproximadamente 6,23 km e que na praia de Janga as estruturas de proteção costeira construídas se estendem por cerca de 2,91 km, a proporcionalidade entre as extensões indica que uma barreira recifal equivalente em frente à Janga teria cerca de 74,13 hectares. Trata-se, evidentemente, de uma aproximação de ordem de grandeza aqui adotada para viabilizar a comparação, e não de uma reconstituição geomorfológica.

A transferência de benefícios é aplicada a essa área hipotética, e não aos 158,70 hectares de recifes efetivamente existentes em Pau Amarelo, para manter a mesma escala espacial das demais linhas de valoração, quais sejam: tanto o custo de reposição quanto as perdas remanescentes são referentes aos 2,91 km da Praia de Janga, de modo que os cobenefícios devem expressar o que uma barreira recifal de extensão equivalente entregaria, hipoteticamente, nesse mesmo trecho. A aplicação sobre a totalidade dos recifes de Pau Amarelo somaria serviços referentes a uma extensão de costa mais de duas vezes superior, tornando as três linhas de valoração incomparáveis entre si. A Tabela 15 apresenta os resultados dos cobenefícios dos recifes hipotéticos da Praia de Janga.

Tabela 15 - Cobenefícios socioambientais dos recifes (transferência de benefícios)

Serviço ecossistêmico	US$/ha/ano (2024)	R$/ha/ano (2025)	R$/ano em Janga (área de 74,13 ha)	Total em 28 anos (R$)
Total	**57.940,68**	**152.066,33**	**11.272.689**	**315.635.297**
Ambientais	872,00	2.288,58	169.653	4.750.272
Provisão direta de alimentos	955,41	2.507,49	185.880	5.204.653
Diversidade genética	22.876,27	60.039,17	4.450.709	124.619.840
Turismo recreativo	8.623,49	22.632,50	1.677.749	46.976.974
Pesca comercial e recreativa	577,20	1.514,87	112.298	3.144.331
Pesquisa	877,79	2.303,78	170.779	4.781.813
Valores de não uso	23.158,52	60.779,94	4.505.622	126.157.414

Os cobenefícios socioambientais totalizam R$ 315,64 milhões ao longo dos 28 anos analisados, equivalentes a R$ 11,27 milhões por ano ou R$ 152,07 mil por hectare por ano. A composição é concentrada nas categorias de valores de não uso (40,0% do total) e de diversidade genética (39,5%), seguidos pelo turismo recreativo (14,9%). Diferentemente dos dispêndios públicos, que se distribuem de forma irregular no tempo conforme os ciclos de obra, esse fluxo é constante ao longo da série, refletindo o pressuposto de que a barreira recifal, quando presente, presta seus serviços de forma contínua e independentemente da ocorrência de eventos extremos.

4.2.5. Consolidação dos serviços ecossistêmicos recifais

A consolidação das três linhas de valoração revela o valor econômico associado à ausência da barreira recifal em frente à Praia de Janga, ou, em leitura equivalente, o valor do serviço que os recifes prestam gratuitamente em Pau Amarelo. A Tabela 16 apresenta a consolidação das três medidas de valor, cujo resultado acumulado alcança R$ 664,34 milhões em 28 anos, com média anual de R$ 23,73 milhões. Referido à área

recifal equivalente (e hipotética) de 74,13 hectares, o resultado corresponde a R$ 320,06 mil por hectare por ano.

Tabela 16 - Consolidação do valor dos serviços ecossistêmicos recifais na Praia de Janga (R$, 2025)

Componente	Total (28 anos)	Média anual	R$/ha/ano	Participação
Total	**664.336.279**	**23.726.296**	**320.063**	**100%**
Custo de reposição (obras de proteção)	278.554.413	9.948.372	134.202	41,9%
Danos e prejuízos remanescentes	70.146.569	2.505.235	33.795	10,6%
Cobenefícios socioambientais	315.635.297	11.272.689	152.066	47,5%

Como a série foi construída integralmente a preços constantes de 2025, os valores anuais são diretamente comparáveis e podem ser somados ao longo do período retrospectivo, sem necessidade de capitalização ou desconto adicional. O resultado não constitui valor presente líquido em sentido estrito, e a média anual funciona como indicador de fluxo recorrente, e não como anuidade derivada da conversão de um fluxo futuro.

4.2.6. Sensibilidade dos resultados

A valoração dos serviços ecossistêmicos recifais em Paulista combina dispêndios públicos efetivamente liberados, registros oficiais de desastres e parâmetros transferidos da literatura internacional, cada qual sujeito a premissas de atribuição espacial, temporal e de escala. Para avaliar a robustez dos resultados, foram realizados testes univariados, nos quais cada premissa é alterada isoladamente, mantendo-se as demais constantes, e testes combinados, cujos resultados são apresentados na Tabela 17.

O teste de maior relevância conceitual é referente ao próprio desenho do quase-experimento. Em sua formulação mais rigorosa, o custo de reposição deveria corresponder à diferença entre os dispêndios por quilômetro realizados na Praia de Janga e na praia protegida por recifes, e não ao gasto total da primeira, uma vez que a orla de Pau Amarelo também recebeu intervenções de contenção. Como não se dispõe de séries pormenorizadas de dispêndios para Pau Amarelo, realizou-se uma aproximação a partir do único investimento identificado de forma individualizada naquela orla, que foram os dissipadores implantados em cerca de 2 km entre Pau Amarelo e Nossa Senhora do Ó, ao custo aproximado de R$ 14,3 milhões. Atualizado pelo mesmo índice aplicado aos demais dispêndios do período e proporcionalizado à extensão da Praia de Janga, esse valor corresponde a cerca de R$ 44,2 milhões, cujo desconto reduziria o custo de reposição para R$ 234,30 milhões e o total do caso em 6,7%.

Ainda no custo de reposição, a premissa de maior influência é a abrangência do custeio de manutenção. No cenário central, adota-se 2% ao ano apenas sobre o investimento nos dissipadores do tipo *bagwall*, aplicado ao conjunto das obras implantadas desde 1998, a partir do ciclo subsequente a cada investimento, o custo de reposição passaria de R$ 278,54 milhões para R$ 373,90 milhões. Esse resultado deve ser interpretado como limite superior, uma vez que parte dos reinvestimentos posteriores já

corresponde à recomposição das estruturas anteriores. Já a atribuição do Termo de Compromisso nº 674807 tem efeito limitado: sua exclusão integral reduziria o custo de reposição para R$ 268,83 milhões, enquanto sua atribuição integral à Praia de Janga o elevaria para R$ 299,38 milhões, com variação do total entre -1,5% e +3,1%. A fração de manutenção dos dissipadores, entre 1% e 4% ao ano, altera o total em menos de 0,6%.

Nos danos e prejuízos remanescentes, a premissa relevante é a fração dos registros municipais atribuída à Praia de Janga. Adotando-se a participação de sua extensão no litoral do município, de 20,8%, as perdas remanescentes seriam de R$ 45,85 milhões; com a razão entre a extensão de Janga e a do trecho protegido por recifes, de 46,7%, alcançariam R$ 103,03 milhões. A exclusão do registro de 2000, o mais antigo e de maior magnitude individual da série, reduziria esse componente para R$ 48,65 milhões.

Os cobenefícios são o componente de maior sensibilidade, dado que 79,5% de seu valor corresponde a valores de não uso e de diversidade genética, parâmetros transferidos da literatura internacional com maior grau de incerteza. A exclusão dos valores de não uso reduz os cobenefícios de R$ 315,64 milhões para R$ 189,48 milhões e o total do caso em 19,0%; a exclusão conjunta dos valores de não uso e de diversidade genética os reduz para R$ 64,86 milhões, e o total em 37,7%. Uma variação de ±25% na área recifal equivalente, que reflete a aproximação por proporcionalidade linear, altera o total em ±11,9%.

No cenário combinado inferior, que reúne a exclusão do Termo de Compromisso nº 674807, o desconto do dispêndio em Pau Amarelo, a atribuição de 20,8% das perdas municipais e a exclusão dos valores de não uso e de diversidade genética, o valor total alcança R$ 335,29 milhões, ou R$ 161,5 mil por hectare de recife equivalente por ano. No cenário combinado superior, com atribuição integral do termo, manutenção sobre todo o estoque de obras e atribuição de 46,7% das perdas, alcança R$ 813,41 milhões, ou R$ 391,9 mil por hectare por ano.

Tabela 17 - Testes de sensibilidade do valor dos serviços ecossistêmicos recifais (R$ milhões)

Teste	Custo de reposição	Perdas remanescentes	Cobenefícios	Total	Variação	R$ mil/ha/ano
Cenário central	**278,54**	**70,15**	**315,64**	**664,32**	**-**	**320,1**
Termo nº 674807 excluído	268,83	70,15	315,64	654,61	-1,5%	315,4
Termo nº 674807 integral	299,38	70,15	315,64	685,17	+3,1%	330,1
Manutenção de 1% (bagwall)	276,60	70,15	315,64	662,38	-0,3%	319,1
Manutenção de 4% (bagwall)	282,43	70,15	315,64	668,21	+0,6%	321,9
Manutenção de 2% sobre todo o estoque de obras	373,90	70,15	315,64	759,68	+14,4%	366,0
Desconto do dispêndio em Pau Amarelo	234,30	70,15	315,64	620,08	-6,7%	298,7
Perdas com rateio de 20,8%	278,54	45,85	315,64	640,03	-3,7%	308,4
Perdas com rateio de 46,7%	278,54	103,03	315,64	697,21	+5,0%	335,9
Perdas sem registro de 2000	278,54	48,65	315,64	642,83	-3,2%	309,7

Sem valores de não uso	278,54	70,15	189,48	538,17	-19,0%	259,3
Sem não uso e div. genética	278,54	70,15	64,86	413,55	-37,7%	199,2
Área recifal equiv. −25%	278,54	70,15	236,73	585,42	-11,9%	282,0
Área recifal equiv. +25%	278,54	70,15	394,54	743,23	+11,9%	358,1
Combinado inferior	224,58	45,85	64,86	335,29	-49,5%	161,5
Combinado superior	394,74	103,03	315,64	813,41	+22,4%	391,9

Os testes indicam que o primeiro dividendo, composto pelo custo de reposição e pelas perdas remanescentes, é o componente mais robusto do caso, variando entre R$ 270,4 milhões e R$ 497,8 milhões nos cenários combinados, o equivalente a R$ 130,3 mil e R$ 239,8 mil por hectare por ano de serviço de proteção costeira. A maior incerteza reside nos cobenefícios transferidos, cujo valor depende da aceitação de adequabilidade dos valores de não uso na análise específica de Paulista. Mesmo no cenário mais restritivo, que limita os cobenefícios aos serviços de uso direto e indireto e desconta o dispêndio realizado em Pau Amarelo, o valor dos recifes supera R$ 330 milhões em 28 anos, confirmando que a infraestrutura natural presta um serviço de ordem de grandeza comparável ao esforço fiscal que sua ausência impôs, involuntariamente, à Praia de Janga.

4.3. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência

Sob o referencial do Triplo Dividendo da Resiliência (Heubaum et al., 2022; Brandon et al., 2025), o caso de Paulista se organiza de modo distinto dos dois anteriores, uma vez que seu valor não é revelado pela reconstrução retrospectiva de perdas em um território cujo ecossistema foi suprimido, mas pelo contraste espacial entre duas praias vizinhas: o que a Praia de Janga precisou despender em concreto e pedra, somado ao que continuou perdendo apesar disso, é a medida do que os recifes de Pau Amarelo entregam.

O primeiro dividendo, que são as perdas evitadas, reúne aqui duas parcelas complementares. A primeira é o custo de reposição: os R$ 278,54 milhões em dispêndios públicos com espigões, quebra-mares, paredões enterrados e dissipadores *bagwall* entre 1998 e 2025 correspondem ao esforço fiscal que a existência de uma barreira recifal teria tornado desnecessário. A segunda são os R$ 70,15 milhões em danos e prejuízos que, ainda assim, se materializaram sobre moradores, comerciantes e sistemas urbanos, evidenciando que a substituição por engenharia foi apenas parcial. Somadas, as duas parcelas alcançam R$ 348,69 milhões, ou R$ 167,99 mil por hectare por ano de serviço de proteção costeira. Nota-se que esse valor não incorpora as perdas difusas que sequer foram registradas, tampouco os efeitos colaterais das próprias estruturas sobre os trechos adjacentes de costa.

O segundo dividendo, que trata dos benefícios econômicos induzidos, não foi objeto de estimativa monetária autônoma neste caso. Parte desse dividendo, no entanto, está indiretamente representado nas rubricas já contabilizadas de prejuízos privados ao comércio e aos serviços apurados nos registros do S2iD, que refletem faturamento perdido em bares, restaurantes, hospedagem e turismo receptivo; e nas categorias de turismo recreativo e pesca comercial e recreativa contabilizadas entre os cobenefícios.

Já o terceiro dividendo, que são os cobenefícios socioambientais, é, neste caso, a camada de maior magnitude: R$ 315,64 milhões em 28 anos, ou R$ 152,07 mil por hectare por ano, refletindo as características dos ecossistemas recifais, que concentram biodiversidade, sustentam cadeias tróficas, ancoram valores de não uso e viabilizam pesquisa científica em intensidade que praias, dunas e mesmo manguezais não alcançam por unidade de área, dimensões integralmente ausentes de qualquer alternativa de engenharia. Cabe notar, contudo, que 79,5% dessa camada correspondem a valores de não uso e de diversidade genética, transferidos da literatura internacional com maior grau de incerteza, razão pela qual sua exclusão foi objeto de teste específico.

Conclusão

O caso de Paulista evidencia uma assimetria estrutural na decisão de investimento em proteção costeira, uma vez que o custo da alternativa cinza é visível, orçado e auditável, enquanto o valor da alternativa natural permanece invisível justamente porque é entregue sem contrapartida financeira e gera benefícios difusos para a sociedade. Dois vetores tendem a ampliar prospectivamente essa assimetria, quais sejam: a necessidade recorrente de manutenção e substituição das estruturas implantadas, já evidenciada pelos episódios de colapso do *bagwall* registrados em 2020 e 2021, e o agravamento dos perigos costeiros em contexto de elevação do nível relativo do mar e de alteração nos regimes de ondas e ressacas, que incide sobre uma orla cuja capacidade de acomodação natural foi permanentemente reduzida.

EIXO 2

O VALOR QUE A NATUREZA PODE ENTREGAR

5. Restauração ecológica em área urbanizada no Rio de Janeiro (RJ)

Ficha-resumo

Intervenção necessária: Restauração em área urbanizada

- SBN: reconstrução de cordão arenoso (ou cordão litorâneo) vegetado mediante o plantio de espécies de restinga na porção superior da praia.
- Infraestrutura cinza: construção de muretas associadas a enrocamentos ao longo da orla da praia.

Município: Rio de Janeiro, RJ

Local: Praia de Copacabana, trecho sul

Área de análise: 1,30 ha, correspondente a aproximadamente 1,3 km de praia, considerando uma faixa de 10 m de largura destinada à reconstrução de cordão arenoso vegetado, medida perpendicularmente à linha de costa na região superior da praia.

Característica: Praia altamente urbanizada, com trechos sujeitos à erosão costeira e faixa de areia com potencial para reconstrução de cordão arenoso vegetado com restinga, exercendo função efetiva de retenção de areia e estabilização.

Contextualização: O litoral do município do Rio de Janeiro é caracterizado por praias expostas e abrigadas intercaladas por formações rochosas, apresentando alguns trechos com remanescentes de vegetação costeira e sistemas de cordões arenosos vegetados. Em praias urbanizadas, como Ipanema e Leblon, há registros de faixas de restinga, incluindo áreas restauradas por projetos de recuperação ecológica.

A Praia de Copacabana, por sua vez, não possui faixas de cordões arenosos vegetados e apresenta histórico de erosão costeira em seu trecho sul, onde já foi registrado um recuo da linha de costa de aproximadamente 10 m nos últimos 60 anos. Apesar da elevada urbanização, a praia ainda apresenta uma faixa de areia relativamente extensa, constituindo um estudo de caso representativo para comparar cenários de adaptação

baseados na reconstrução de cordões arenosos vegetados em relação à implantação de infraestrutura cinza para proteção da orla e redução da exposição da infraestrutura urbana aos processos erosivos.



Figura 7 - Área do estudo de caso na cidade do Rio de Janeiro (RJ), destacando a Praia de Copacabana e o trecho na região sul com histórico de erosão costeira (em amarelo)

5.1. Histórico socioambiental

O município do Rio de Janeiro apresenta uma extensa e diversificada faixa costeira, composta por praias expostas e abrigadas, intercaladas por formações rochosas e, em alguns trechos, por remanescentes de vegetação costeira e sistemas de extensos cordões arenosos vegetados. Na Zona Sul, praias como Ipanema e Leblon apresentam faixas de restinga, incluindo áreas submetidas a projetos de recuperação ecológica[63]. A Praia de Copacabana, por sua vez, não possui faixas de vegetação de restinga, deixando de exercer a função de reter e estabilizar sedimentos. A orla, ademais, é intensamente urbanizada e atualmente se caracteriza por elevada densidade populacional. Consolidada ao longo do século XX como um dos principais símbolos turísticos e urbanos do Rio de Janeiro, Copacabana representa um exemplo de ocupação costeira em que a urbanização transformou profundamente a relação entre a cidade e os processos naturais associados ao ambiente praial.

A Praia de Copacabana apresenta histórico de erosão costeira anterior às intervenções de alimentação artificial da praia. Em 1965, diante dos problemas erosivos existentes, a Prefeitura do Rio de Janeiro realizou uma grande obra de engorda da praia, concluída em 1971, que ampliou a faixa de areia em aproximadamente 80 m em direção à zona de

[63] Restauração de restinga. Instituto-E. Disponível em link.

arrebentação. A intervenção modificou a configuração da praia e permitiu a consolidação da extensa faixa de areia atualmente existente em frente à orla urbanizada. Entretanto, a dinâmica costeira da região continuou sujeita a alterações, em um contexto de expansão urbana e mudanças na dinâmica do transporte sedimentar ao longo de aproximadamente seis décadas (Castro et al., 2025).

Estudos recentes indicam que a praia vem sofrendo acentuada erosão em alguns trechos específicos, concomitante à acreção em outros. Uma análise de aproximadamente 60 anos de imagens aéreas e de satélite da região de Copacabana e Leme identificou que a erosão mais acentuada se dá no setor sul de Copacabana, especialmente nas proximidades do Posto 6 e do Forte de Copacabana, enquanto o trecho central apresentou maior estabilidade e o setor do Leme apresentou tendência de deposição (Carvalho et al., 2026). No setor sul, já foi registrado um recuo da linha de costa de aproximadamente 10 m ao longo dos últimos 60 anos. Em ambientes costeiros urbanizados, tempestades, transporte sedimentar, disponibilidade de sedimentos, alterações na configuração da orla e estruturas costeiras podem atuar conjuntamente na determinação dos padrões de erosão e deposição. No caso de Copacabana, a expansão urbana ao longo das últimas décadas constitui um componente importante desse contexto, pois modificou as condições de transporte e acomodação de sedimentos (*coastal squeeze*).

Apesar do histórico de erosão e da elevada urbanização, Copacabana ainda apresenta uma faixa de areia relativamente extensa, cuja configuração atual é, em grande medida, resultado da engorda realizada na década de 1970. A praia, entretanto, não apresenta atualmente um sistema de cordões arenosos vegetados que possa contribuir para a dissipação natural da energia de ondas e para a acomodação de variações na linha de costa, retendo e estabilizando o fluxo de sedimentos. Nesse contexto, Copacabana constitui um estudo de caso interessante para discutir diferentes estratégias de adaptação costeira em áreas urbanizadas, inclusive pelo esforço municipal recente de proteção dos ambientes vegetados de restinga[64 e 65]. A comparação entre a implantação de infraestrutura cinza para proteção da orla e alternativas que considerem a reconstrução de cordões arenosos vegetados com restinga pode contribuir para avaliar diferentes formas de reduzir a exposição da infraestrutura urbana aos processos erosivos e aos efeitos das mudanças climáticas.

5.2. Intervenção com SBN

A alternativa de SBN para o trecho sul da Praia de Copacabana consiste na reconstituição de um cordão arenoso[66] vegetado contínuo ao longo da porção superior da praia, conformado por remanejamento da areia da própria berma praial e estabilizado por

[64] *Secretaria de Meio Ambiente e Clima lança portal "Restingas Cariocas"*. Secretaria Municipal do Ambiente e Clima, Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. 08 jun. 2026. Disponível em link.
[65] *Rio lança Corredor Azul e plano de restauração das restingas até a COP30*. Agenda do Poder. 02 nov. 2025. Disponível em link.
[66] Utiliza-se o termo "cordão arenoso" para depósitos alongados com sedimento de origem principalmente marinha, cuja formação original é associada à ação de ondas, correntes e linhas de praia. Trata-se de termo mais amplo que "cordão dunar", haja vista que as formações dunares são resultado de atuação eólica (sejam em feições alongadas, como cordões paralelos à faixa de praia, ou isoladas como elevações, cômoros ou colinas).

plantio de espécies nativas de restinga[67]. A intervenção se apoia no Projeto Restinga, conduzido pelo Instituto-E em parceria com a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Clima (SMAC) que, desde 2009, recuperou mais de 10 mil m^2 de vegetação de restinga nas orlas das praias de Ipanema e Leblon, com mais de 41 mil mudas plantadas e cerca de 6 mil m^3 de areia remanejada para formação dos cordões. Trata-se de precedente de sucesso no próprio município, reconhecido inclusive pela Unesco[68].

Conforme abordado no item 1.3.2, o mecanismo de proteção da SBN difere daquele das estruturas rígidas, pois um cordão arenoso vegetado dissipa a energia das ondas por atrito e rugosidade, retém sedimento por fixação radicular e promove a adaptação dinâmica do balanço sedimentar sazonal, ao passo que muretas e enrocamentos dissipam ou refletem essa energia por massa e geometria fixas (Amorim et al., 2023). O corpo do cordão arenoso, dessa forma, pode migrar (semifixo) e se reconstituir a partir de sua própria massa, uma vez que atua como uma reserva sedimentar na qual parte do volume mobilizado durante um evento de ressaca é devolvida ao perfil praial na fase de recuperação.



Figura 8 - Área detalhada da recuperação ambiental (em vermelho), no trecho sul da Praia de Copacabana, Rio de Janeiro

Importante registrar que, assim como na alternativa de infraestrutura cinza, esta opção de SBN não contempla engordamento artificial da faixa de areia nem importação de

[67] Conforme a Resolução CONAMA nº 417/2009: Vegetação de restinga é o conjunto de comunidades vegetais (arbustiva, herbácea e subarbustiva) associado aos depósitos arenosos costeiros (móveis, semifixos ou fixos), encontrado em praias, cordões arenosos, dunas, depressões, planícies e terraços arenosos.
[68] *Unesco reconhece projeto de restauração de restinga na orla da Zona Sul*. O Globo. 02 dez. 2024. Disponível em link.

sedimento. Assume-se que todo o volume necessário à conformação do cordão provém do remanejamento de sedimentos já presentes na porção superior da praia, procedimento adotado no precedente de Ipanema e Leblon. Essa definição é também importante para a estimativa dos custos, pois exclui do orçamento a aquisição, a dragagem e o transporte externo de sedimentos.

5.2.1. Concepção e dimensionamento

A concepção da SBN em Copacabana constitui uma unidade autossuficiente de análise, e foi organizada em sete módulos, conforme a lista abaixo:

- M1. Serviços preliminares e administração local (canteiro de obras e sinalização, mobilização e desmobilização de equipes e equipamentos);
- M2. Reconstituição de cordão arenoso, com escavação, movimentação e conformação;
- M3. Reforço estrutural temporário com materiais reversíveis, composto por proteção de pé e cerca de retenção sedimentar;
- M4. Cercamento de proteção contra pisoteio;
- M5. Plantio da vegetação de restinga e irrigação na fase de estabelecimento; e
- M6. Monitoramento e tratos culturais durante o período de estabelecimento, além do estabelecimento da linha de base topográfica;
- M7. Administração local.

Os módulos de reforço estrutural temporário e de monitoramento não integram o escopo usual de projetos de revegetação, mas se justificam pelo tempo necessário até que o cordão arenoso desenvolva seu sistema radicular e passe, então, a reter sedimentos e a desempenhar a função de proteção pretendida. Durante esse intervalo, o corpo sedimentar fica tanto vulnerável ao ataque de onda na sua base, quanto à remoção eólica na sua superfície. A prática internacional de restauração de cordões arenosos e dunares endereça essa lacuna com cercas de contenção de areia (*sand fencing* ou *dune-forming fences*), que são dispositivos temporários que reduzem a velocidade do vento junto ao solo, capturam areia transportada e aceleram a formação do relevo arenoso até que a vegetação se estabeleça, podendo ser então removidas.

Essa prática está sistematizada na orientação de manejo de cordões litorâneos elaborada para a agência ambiental do País de Gales por Pye et al. (2017), que revisou as técnicas aplicáveis a esses ambientes e as organizou em fichas técnicas dedicadas às intervenções mais empregadas sob política de manutenção da linha de costa (conhecidas como *hold the line*). Os autores concluem que intervenções de baixo grau de alterações físicas são eficazes para limitar a erosão das porções frontais dos cordões e favorecem sua recuperação, inclusive pelo avanço da linha arenosa em direção ao mar, que passa a operar como colchão sedimentar frente a tempestades futuras.

Essa é, exatamente, a função transitória que os módulos de reforço estrutural temporário buscam viabilizar em Copacabana. No mesmo sentido, a compilação de evidências de custos de proteção costeira elaborada por Hudson et al. (2015) descreve o *dune fencing* como cercas semipermeáveis instaladas na face marinha do cordão, cuja

finalidade é promover a deposição da areia transportada pelo vento, reduzir o pisoteio e proteger a vegetação até seu pleno estabelecimento. Os autores classificam a técnica como tendo baixo custo e baixa exigência de manutenção. A dupla função, de retenção sedimentar e proteção da vegetação, é o que justifica a inclusão do módulo de reforço estrutural temporário e do módulo de cercamento contra pisoteio.

No Brasil, Santos e Duarte (2026) reportaram experimento de restauração de dunas e restingas degradadas por *Pinus elliottii* no litoral sul do Rio Grande do Sul. Segundo os autores, cercas de contenção de 1,30 m de altura instaladas na crista da duna se mostraram eficazes na contenção da areia mobilizada nos setores desprovidos de vegetação e, nos setores vegetados, contribuíram para a sobrevivência das mudas ao reduzir o impacto direto do vento sobre as plantas em fase de estabelecimento. Mesmo que o contexto seja rural e diferente do de Copacabana pela presença de dunas (propriamente ditas), o mecanismo físico observado indica que se trata de técnica eficaz.

Na concepção da SBN em Copacabana, considerou-se a proteção de pé, executada em sacos de solo-cimento, e colocação de cerca de retenção sedimentar. Dado o caráter temporário, ambas foram especificadas com materiais reversíveis. Ademais, o cercamento de proteção contra pisoteio do cordão foi incluído a partir da experiência específica de restauração nas praias de Ipanema e Leblon. O memorial descritivo do projeto executivo dessas intervenções identifica o furto de moirões, o arrebentamento de arame e a abertura de passagens por ambulantes como causas recorrentes de degradação da vegetação implantada. Dessa forma, o padrão aqui adotado segue o recomendado pela SMAC, qual seja, cercamento com moirões de madeira tratada, distanciados de 1,50 m, com três fiadas de arame e esticadores.

Geometria resultante

O parâmetro geométrico determinante de um cordão arenoso de proteção é a cota de coroamento, pois dela depende a capacidade de conter o galgamento durante eventos extremos. Adotou-se a altura do corpo do cordão de 1,70 m sobre a berma, derivada de Fernández-Montblanc et al. (2020). Os autores avaliaram, por modelagem morfodinâmica, alternativas de adaptação para um trecho de orla urbanizada e concluíram que a reconstrução de cordão com essa altura, ao longo de 1,4 km, combinada à revegetação com espécies nativas, produziu a melhor resposta entre as diversas opções testadas, com redução de 42% no volume máximo de inundação nas condições atuais de nível do mar e de 25% a 59% em cenários futuros de elevação. A proximidade entre a extensão modelada por Fernández-Montblanc et al. com a do trecho aqui avaliado (1,4 e 1,3 km, respectivamente), indica que o parâmetro é pertinente, embora caiba reforçar que não se trata de resultado de modelagem específica para Copacabana, mas sim de uma transposição por semelhança de contexto.

Quanto à largura da base do cordão, que perfaz outra dimensão essencial para a determinação de sua geometria e, então, de seus custos de implementação, partiu-se da faixa total de 10 m que delimita a área de análise. Dela, estabeleceu-se a preservação de 2 m para a transição com o calçadão e para a eventual variação sazonal do perfil praial, resultando em 8 m (equivalente a cobertura de 80% da área). A intenção é representar a margem requerida pela dinâmica sazonal do perfil praial e para a eventual migração do corpo sedimentar em resposta à elevação do nível médio do mar. Já para a crista do

cordão, foi adotada a largura que garantisse um ângulo de inclinação do talude inferior ao intervalo de repouso da areia seca (de 30º a 34º), condição necessária à estabilidade do corpo arenoso sem confinamento estrutural. Com uma largura de crista de 2,0 m, a geometria resultante conforma taludes de 3,0 m de projeção horizontal e inclinação de 1,76:1, correspondente a 29,5º e dentro do intervalo desejado. A seção transversal e os quantitativos correspondentes são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 18 - Geometria e quantitativos da alternativa de SBN em Copacabana

Parâmetro	Valor	Unidade	Detalhamento
Extensão do trecho de orla	1.300	m	Delimitação da área de análise
Altura da crista do cordão arenoso	1,70	m	Fernández-Montblanc et al. (2020)
Largura da crista	2,00	m	Premissa de projeto
Largura da base do cordão	8,00	m	Faixa de 10 m com folga de 2 m
Projeção horizontal do talude	3,00	m	Derivado da geometria
Inclinação dos taludes	1,76:1	H:V	Equivalente a 29,5º
Área da seção transversal	8,50	m^2	Derivada da geometria
Volume de areia a remanejar	11.050	m^3	Volume de areia por metro linear
Desenvolvimento de cada talude	3,448	m	Comprimento inclinado da face
Superfície vegetada total*	11.565	m^2	Perímetro vegetado
Quantidade de arbustos	1.157	un	1 a cada 10 m^2
Extensão de cercamento	2.600	m	Face com mar e com o calçadão
Volume trincheira de proteção de pé	260	m^3	Seção de 0,50 m por 0,40 m

* A superfície vegetada corresponde ao desenvolvimento inclinado dos taludes somado à crista, e se constitui em base de cálculo do plantio de restinga e de sua manutenção.

5.2.2. Custos de implantação (Capex)

Os custos unitários para compor o orçamento da SBN foram extraídos do Catálogo de Itens de Serviço do SCO-Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro (referenciado no item 1.4.3), que incorpora as condições de mercado, de logística e de encargos específicas ao município. Foram empregadas tabelas referentes à administração local e de serviços de parques e jardins, que contemplam fornecimento e plantio de espécies vegetais, cercas, moirões e telas de proteção. Nota-se que três dos itens adotados são correspondentes aos empregados no Projeto Executivo para Revitalização das Dunas de Ipanema e Leblon, projeto real executado no próprio município para a mesma tipologia de intervenção, elaborado pela empresa Biovert Florestal e Agrícola (2026) por contratação da SMAC. São estes: (i) a composição de fornecimento de espécies vegetais rasteiras com altura de 0,10 a 0,20 m, que embute densidade de 25 mudas por m^2 e inclui espécies como *Acalypha reptans*, *Arachis repens*, *Cuphea gracilis* e *Wedelia paludosa*; (ii) a composição de fornecimento de espécies arbustivas com altura de 0,3 a 2,0 m; e (iii) a composição de arame galvanizado em cercas com moirão de madeira. A densidade adotada

de plantio pressupõe cobertura integral do solo desde a implantação, condição desejável para a fixação rápida do sedimento.

A conformação do cordão arenoso foi orçada por duas composições de movimento de terra: escavação mecânica com trator de esteiras e transporte a curta distância, e espalhamento de material com motoniveladora (considerando a movimentação de areia). Ambas são exclusivas do fornecimento do material, pois pressupõe-se que o sedimento necessário possa ser obtido localmente a partir da própria berma praial, sem comprometer a largura da faixa de areia disponível ao uso público nem a estabilidade do perfil praial adjacente. Essa premissa decorre das conclusões de Carvalho et al. (2026), que demonstraram que a enseada Copacabana-Leme apresenta processo de acreção em alguns trechos. Dessa forma, o custo unitário resultante se refere exclusivamente à movimentação e à conformação.

Sobre o subtotal de serviços, incidiu a administração local, calculada pelo mesmo coeficiente derivado da planilha orçamentária da obra de enrocamento de Angra dos Reis (ver item 5.3.1, de infraestrutura cinza), de modo a preservar a simetria de tratamento entre as duas alternativas. Quanto ao item de benefícios e despesas indiretas (BDI)[69], que é aplicado sobre o subtotal de serviços, adotou-se a fração de 20%, conforme adotado no projeto executivo supracitado (Biovert, 2026). O mesmo BDI é aplicado na composição orçamentária da infraestrutura cinza.

A Tabela 19 apresenta o orçamento resultante (a preços de 2025), que aplica o quantitativo da alternativa de SBN aos preços unitários consultados no SCO-Rio. De forma a facilitar a leitura das linhas de cálculo, utiliza-se o agrupamento por módulos.

Tabela 19 - Orçamento de implantação da alternativa de SBN em Copacabana

Item	Descrição do serviço	Código SCO-Rio	Custo unit. (R$)	Custo total (R$)
M1	**Serviços preliminares, canteiro, mobilização, desmobilização**			**153.803**
1.1	Placa de identificação de obra	AD 20.25.0300	678,95/m²	4.074
1.2	Locação da obra	AD 10.10.0100	35,47/m	92.790
1.3	Barracão de obra	AD 20.05.0050	824,88/m²	9.899
1.4	Proteção de canteiro de obra	AD 25.05.0500	25,56/m	33.228
1.5	Transporte de equipamentos	AD 15.10.0300	2,77/tkm	11.302
1.6	Relatório final de serviços	AD 30.05.0050	2.511,89/un	2.512
M2	**Reconstituição geomorfológica do cordão arenoso** *			**53.703**
2.1	Escavação e movimentação de areia	MT 10.15.0050	1,50/m³	33.150
2.2	Espalhamento e conformação	MT 20.05.0050	0,93/m³	20.553
M3	**Reforço estrutural temporário (proteção de pé, retenção sedimentar)**			**194.853**
3.1	Proteção em saco de solo-cimento	ET 70.05.0100	28,08/un	104.297
3.2	Manta geotêxtil de separação	DR 65.05.0100	7,85/m²	5.103

[69] Percentual aplicado sobre os custos diretos de uma obra ou serviço para se obter seu preço final, refletindo despesas indiretas (como administração central, riscos, seguros, garantias, despesas financeiras e tributos incidentes sobre o faturamento) e a remuneração ou lucro da empresa contratada.

3.3	Cerca de retenção em PEAD	PJ 15.10.0900	37,92/m²	49.296
3.4	Moirão de madeira	PJ 15.05.0125	83,44/un	36.157
M4	**Cercamento de proteção contra pisoteio**			**171.695**
4.1	Moirão em madeira	PJ 15.05.0125	83,44/un	144.629
4.2	Arame galvanizado, três fiadas	SC 40.05.0050	3,47/m	27.066
M5	**Plantio de vegetação de restinga**			**722.686**
5.1	Espécies vegetais de restinga	PJ 05.05.0800	39,25/m²	453.938
5.2	Plantio de cobertura vegetal	PJ 05.10.0065	18,50/m²	213.958
5.3	Espécies arbustivas de restinga	PJ 10.30.0100	29,00/un	33.539
5.4	Plantio de arbusto	PJ 10.05.0100	2,11/un	2.440
5.5	Irrigação de implantação	EQ 05.05.0600	195,95/h	18.811
M6	**Monitoramento e tratos culturais no primeiro ano *****			**36.019**
6.1	Monitoramento biólogo	AD 40.05.0094	44,42/h	14.214
6.2	Monitoramento técnico	AD 40.05.0086	31,44/h	10.061
6.3	Monitoramento auxiliar	AD 40.05.0092	36,70/h	11.744
M7	**Administração local**	**Infra Cinza ****	**0,0623**	**83.029**
-	**Subtotal sem BDI**			**1.415.789**
-	BDI (20%)			283.158
-	**CAPEX TOTAL A PREÇOS DE MERCADO**			**1.698.946**

* O orçamento considera duplo manuseio (escavar/carregar e espalhar/conformar). ** Razão adimensional derivada do orçamento de referência de dimensionamento para a infraestrutura cinza (Angra dos Reis, 2021). *** As campanhas de monitoramento e tratos culturais desta tabela estão restritas ao primeiro ano por comporem o Capex; o Opex considera a continuidade dessas ações.

O Capex de implantação totaliza R$ 1,70 milhões a preços de mercado, equivalentes a R$ 1,31 mil por metro linear de orla ou ainda R$ 146,90 por m² de superfície vegetada. A estrutura de custos é dominada pelo plantio, que responde por 51,0% do total, seguido pelo reforço estrutural temporário, com 13,8%, e pelo cercamento, com 12,1%. A reconstituição geomorfológica, apesar de mobilizar 11,05 mil m³ de sedimento, representa apenas 3,8% do investimento, o que deriva da conformação do cordão a partir da areia já disponível na berma, sem aquisição nem transporte externo de material. Importante notar que o monitoramento e tratos culturais do plantio devem ser executados pelo período necessário até que haja o pleno estabelecimento da vegetação; as ações listadas na Tabela 19 são referentes apenas ao primeiro ano, pois são componentes do Capex, sendo a continuidade dessas ações contabilizada no Opex.

Verificação de plausibilidade

Salvo pela referência carioca utilizada para a conformação do projeto de SBN, não foram encontradas outras experiências sistematizadas de custos de restauração de cordões arenosos vegetados em orla urbana no Brasil. Na tentativa de calibrar a estimativa realizada, recorreu-se a referências internacionais compiladas em publicações de organismos multilaterais e agências ambientais, apresentadas a título de verificação de

plausibilidade para os valores aqui obtidos. Importante destacar que os valores em dólares e em euros foram convertidos pela paridade de poder de compra de 2025, conforme as rotinas de cálculo declaradas no item 1.4. A tabela abaixo apresenta os resultados da pesquisa de benchmark.

Tabela 20 - Referências internacionais de custo de restauração de cordões arenosos vegetados

Referência	Parâmetro original	Equivalência unitária (R$)	Equivalência ao caso de Copacabana
Aerts (2018), apud WB (2021): Revegetação de cordões na Europa	US$ 7.636 a 13.888/ha	R$ 19.527 a 35.514/ha	R$ 25.385 a R$ 46.169 para 1,3 ha
Verburg et al. (2017), apud WB (2021): Revegetação de cordões na Europa	US$ 15.000/ha	R$ 38.358/ha	R$ 49.865 para 1,3 ha
IGCI NZ (2013): Restauração e revegetação de cordões com mão de obra comunitária (voluntária)	US$ 22 a 30/m	R$ 56,26 a 76,72/m	R$ 73.136 a 99.731 para 1.300 m
NOAA USA (2020): Obra completa de engenharia, com alimentação sedimentar contínua	US$ 2.000 a 5.000/pé	R$ 16.780 a 41.949/m	R$ 21.813.386 a 54.533.465 para 1.300 m
Climate-ADAPT, EEA (2025): Plantio protetor de dunas com herbáceas locais na Europa	€ 11 a 28/m^2	R$ 44,54 a 113,37/m^2	R$ 515.088 a 1.311.133 para 11.565 m^2
Climate-ADAPT, EEA (2025): Reconstrução de cordão dunar na Europa (pode incluir alimentação de areia)	€ 6,90 a 17,10/m^3	R$ 27,94 a 69,24/m^3	R$ 308.713 a 765.071 para 11.050 m^3

Verifica-se uma ampla dispersão, justificada pela diferença na natureza das intervenções. O parâmetro neozelandês, entre R$ 56,26 e R$ 76,72 por metro linear de restauração e revegetação de cordões arenosos, refere-se à execução comunitária e voluntária, mantendo custos ao mínimo. No extremo oposto, a NOAA informa dispêndios de R$ 16,78 a 41,95 mil por metro para a restauração de feições que inclui desde a avaliação ambiental e modelagens, até recursos contínuos de areia para realimentação (engorda). Essa última referência pode ser interpretada como uma baliza superior de soluções com alimentação sedimentar recorrente. Convertidos pela cotação de paridade do poder de compra, os valores da Climate-ADAPT (EEA, 2025) correspondem a R$ 44,54 a R$ 113,37 por metro quadrado para plantio protetor e R$ 27,94 a R$ 69,24 por metro cúbico para reconstrução de cordões. Aplicados, respectivamente, à área vegetada de Copacabana (de 11.565 m^2 e ao volume de 11.050 m^3, resultam em intervalos respectivos de R$ 515 mil a R$ 1,31 milhão e de R$ 309 mil a R$ 765 mil, o que mostra relativa coerência.

5.2.3. Custos de operação e manutenção (Opex)

Um dos principais componentes dos esforços de manutenção de SBN é o monitoramento e execução de tratos culturais para garantir que haja pleno estabelecimento da vegetação de restinga. Estes esforços, tipicamente, desdobram-se ao longo de 5 anos, sendo que as campanhas de substituição de mudas, reposição de mudas subtraídas, controle de espécies invasoras e outros vão se espaçando conforme o estabelecimento.

Além dos tratos culturais, as campanhas de monitoramento preveem a manutenção e substituição de moirões e arame do cercamento, a irrigação, o monitoramento do perfil do cordão e os esforços de comunicação com os usuários da praia. Sobre esse último item, importante citar que o Plano Permanente de Restauração das Restingas e o portal a ele dedicado (SMAC[70]) salientam que a conscientização dos usuários e o monitoramento periódico são determinantes do sucesso dos esforços de restauração.

Quanto ao custo de manutenção da SBN, dispõe-se de referência local e de longa duração a partir do já mencionado Projeto Restinga, executado nas orlas de Ipanema e Leblon. Com base no cruzamento de algumas referências veiculadas na imprensa, compreende-se que o projeto acumulou investimento da ordem de R$ 2,8 milhões ao longo de 15 anos sobre mais de 10 mil m² de superfície restaurada[71]. Além disso, recebeu aportes de R$ 900 mil em dezembro de 2024[72] e de R$ 1 milhão em março de 2026[73], além de uma parcela da doação de R$ 1,7 milhão anunciada em março de 2024 e de um aporte anterior em 2023[74]. Muitos destes valores são referentes aos custos de implantação e de manutenção de novos projetos de restauração[75], e não se tem acesso aos desdobramentos desses custos. Por essa razão, esses aportes não integram o parâmetro central, sendo incorporados em teste de sensibilidade específico.

Mesmo assim, a indicação de R$ 2,8 milhões em custos totais do projeto, durante os últimos 15 anos, perfaz precedente mais próximo possível ao caso de Copacabana, tanto pela tipologia da intervenção quanto pelo contexto de orla urbana intensamente utilizada. O valor divulgado corresponde ao investimento total acumulado e engloba tanto a implantação quanto a manutenção recorrente, e resulta em uma métrica de custo bruto por unidade de área de R$ 18,67/m² por ano. Uma vez que o parâmetro engloba a implantação, é possível que esteja superestimado. Não obstante, o valor de referência é nominal acumulado e não foi corrigido para preços de 2025, o que tende a subestimar o parâmetro derivado. Por essa razão, utiliza-se desse parâmetro como estimativa de custo de manutenção. Aplicando-se a métrica unitária de custeio para a superfície vegetada total de SBN, tem-se um Opex anual estimado de R$ 215,89 mil, equivalente a 12,71% do Capex.

5.2.4. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa

Os custos de implantação e de operação da alternativa de SBN foram inicialmente estimados a preços de mercado e, portanto, incorporam tributos indiretos, encargos, margens e demais distorções associadas aos mercados de bens, serviços e fatores de produção. Em conformidade com o Guia ACB (Brasil, 2022a), a avaliação socioeconômica requer a conversão desses dispêndios para preços sociais, mediante a aplicação dos fatores de conversão constantes do Catálogo de Parâmetros (Brasil e IPEA, 2022). Esses fatores, que refletem a estrutura produtiva da economia nacional, buscam aproximar

[70] *Restingas Cariocas*. SMAC, Pref. da Cidade do Rio de Janeiro. Disponível em link.
[71] *Roberto Anderson: As dunas verdes de Ipanema e Leblon*. Diário do Rio de Janeiro. 20 jun. 2024. Disponível em link.
[72] *Fundo Comunitário do Airbnb anuncia nova doação para Instituto-E*. Airbnb News. 16 dez. 2024. Disponível em link.
[73] *Airbnb doa R$ 1 milhão para proteção de vegetação de restinga na orla do Rio*. O Globo. 03 mar. 2026. Disp. em link.
[74] *Praias de Ipanema e Leblon ganham incentivo para recuperar vegetação*. Veja Rio. 13 mar. 2024. Disponível em link.
[75] *Instituto-E e Airbnb inauguram nova restinga da Barra da Tijuca*. Airbnb News. 27 abr. 2025. Disponível em link.

os valores orçamentários do custo de oportunidade dos recursos mobilizados pela intervenção para a sociedade.

Dado o perfil heterogêneo de composição do orçamento da SBN, realizou-se uma desagregação em seis principais grupos de insumos, de forma a permitir a aplicação do fator de conversão mais específico possível para cada um:

- O fornecimento de espécies rasteiras e arbustivas de restinga foi classificado como insumos vegetais e convertidos pelo fator de 0,966, associado ao setor de produtos da exploração florestal e da silvicultura.
- Os moirões empregados tanto na retenção sedimentar temporária quanto no cercamento de proteção contra pisoteio, foram classificados como insumos de madeira e receberam o fator de 0,935, referente ao setor de produtos de madeira, exclusive móveis.
- Os serviços técnicos e administrativos foram convertidos pelo fator de 0,984, relativo ao setor de serviços de arquitetura e engenharia.
- O conjunto de atividades de plantio, irrigação e monitoramento foi convertido pelo fator da mão de obra, sendo que este foi ponderado entre trabalhadores de maior qualificação (0,746), com participação de 10%, e de menor qualificação (0,737), com participação de 90%, conforme os parâmetros específicos da Região Sudeste. O fator resultante para esse grupo foi de 0,738.
- Os demais itens, ainda sem BDI, apresentam desagregação mais complexa, e foram então convertidos pelo fator setorial de obras de infraestrutura, de 0,947, que perfaz uma aproximação aderente para os insumos e serviços de caráter construtivo, mecânico e de implantação.
- Por fim, a rubrica de BDI foi convertida pelo fator médio ponderado calculado para a cesta de itens sobre a qual incide (no caso, de 0,9126), mantendo a coerência entre a conversão dos custos diretos e da parcela de despesas indiretas.

A Tabela 21 apresenta os grupos e os resultados dos cálculos, a preços sociais de 2025, para a alternativa de SBN em Copacabana. A aplicação desses fatores aos grupos de insumo resulta em fator médio ponderado de 0,9126 para o Capex da intervenção de SBN. Assim, o investimento inicial de R$ 1,70 milhões a preços de mercado corresponde a R$ 1,55 milhões a preços sociais. Em termos unitários, o custo socioeconômico de implantação equivale a aproximadamente R$ 1,19 mil por metro linear de orla protegida, ou ainda de R$ 134,07 por m^2 de superfície vegetada.

Tabela 21 - Conversão a preços sociais da alternativa de SBN em Copacabana

Grupo de insumo	Preço de mercado (R$)	Fator de Conversão	Referência do FC (Catálogo de Parâmetros)	Preço social (R$)
Insumos vegetais	97.495	0,9660	FCS produtos da exploração florestal e da silvicultura	94.181
Insumos de madeira	36.157	0,9350	FCS produtos de madeira, exclusive móveis	33.807
Serviços técnicos e administração	178.330	0,9840	FCS serviços de arquitetura e engenharia	175.477

Plantio e manutenção	271.229	0,7380	FCMO ponderado (10/90) para Região Sudeste	200.159
Demais itens orçamentários diretos	832.577	0,9470	FCS obras de infraestrutura	788.451
BDI	283.158	0,9126	Fator de conversão ponderado dos demais itens	258.415
TOTAL	**1.698.946**	**0,9126**	**Fator ponderado resultante**	**1.550.489**

Na ausência de decomposição anual do Opex por categoria de insumo, e dada a similaridade dos serviços de manutenção em relação à implantação, foi aplicado o mesmo fator médio ponderado de 0,9126. Sob essa premissa, o custo anual de manutenção passa de R$ 215,89 mil, a preços de mercado, para R$ 197,02 mil a preços sociais. Dessa forma, os valores empregados nas etapas subsequentes da análise custo-benefício passam a representar custos socioeconômicos, isto é, custos depurados das distorções sistemáticas captadas pelos fatores de conversão adotados.

Resta, finalmente, alocar os valores de Capex e de Opex ao longo dos 30 anos de horizonte temporal, de forma a calcular o valor presente líquido dos dispêndios previstos. Para tal, pressupõe-se que todo o dispêndio de capital ocorre no primeiro ano, com os custos de manutenção iniciando-se no ano seguinte e perdurando de forma linear até o último ano. O Opex não necessariamente precisa ser continuado para além do 10º ano, pois até lá o cordão arenoso vegetado passa a estar plenamente estabelecido e já partícipe da paisagem. Não obstante, para fins de conservadorismo, optou-se por alocá-lo até o último ano do horizonte temporal (30º). A tabela abaixo apresenta os resultados dos valores descontados à taxa social de desconto de 8,5% a.a. (Brasil e IPEA, 2022) para o horizonte de 30 anos, expressos a preços constantes de 2025.

Tabela 22 - Custo socioeconômico total da alternativa de SBN em Copacabana

Componente de custo	Valor presente (R$)	R$ por metro linear	Participação (%)
Capex (implantação, ano 1)	1.429.023	1.099,25	42,5%
Opex (manutenção, anos 2 a 30)	1.935.767	1.489,05	57,5%
Custo socioeconômico total	**3.364.790**	**2.588,30**	**100,0%**

O custo socioeconômico total da alternativa de SBN para proteção costeira no trecho sul da Praia de Copacabana, expresso em valor presente, alcança R$ 3,36 milhões, ou ainda R$ 2,59 mil por metro linear de orla protegida pelo cordão arenoso vegetado. A título de referência, o mesmo fluxo avaliado a preços de mercado totalizaria R$ 3,69 milhões, de modo que a conversão a preços sociais reduz o custo total em aproximadamente 8,7%. Os dispêndios de implantação respondem por 42,5% do custo social total em valor presente, sendo que a manutenção responde pelos 57,5% restantes, refletindo o histórico de manutenção de restingas no município do Rio de Janeiro e a necessidade de reposição, monitoramento e ações de comunicação social.

5.3. Intervenção com infraestrutura cinza

A concepção da alternativa convencional de proteção costeira para o trecho sul da Praia de Copacabana consiste na implantação de uma defesa rígido-permeável composta por dois elementos funcionalmente complementares: uma mureta de contenção implantada na retaguarda, na interface com o calçadão, e um enrocamento frontal assentado sobre manta geotêxtil, voltado ao mar. Trata-se do arranjo que Amorim et al. (2023) descrevem como o de melhor desempenho conjunto entre as tipologias correntes de contenção à erosão costeira, ao reunir baixo custo de manutenção, prazo longo entre intervenções preventivas e vida útil elevada.

A escolha por esse arranjo, em detrimento a uma estrutura isolada, decorre da dupla exigência funcional imposta por orlas urbanizadas, pois conforme sistematizam Amorim et al. (2023), uma estrutura de contenção para esses ambientes precisa operar simultaneamente a montante, dissipando a energia das ondas e combatendo o vórtex que acelera o processo erosivo, e a jusante, resistindo ao empuxo exercido pelo terreno da retaguarda. O enrocamento responde à primeira função por ser uma estrutura permeável, de baixa refletividade, que promove a percolação e o rompimento da agitação no interior do próprio corpo de pedra. A mureta, por sua vez, responde à segunda, atuando como arrimo do maciço que sustenta o calçadão e a Avenida Atlântica. Isoladamente, nenhum dos dois elementos cumpre essas funções com a mesma eficácia.

Cabe registrar que a alternativa cinza aqui concebida não contempla engordamento artificial da faixa de areia, uma vez que sua inclusão descaracterizaria a comparação com a alternativa de SBN, que também não pressupõe reposição sedimentar em escala de engorda. Adicionalmente, muito embora seja prática recorrente em orlas erodidas, a engorda acaba sendo solução temporária, cuja vida útil depende diretamente do grau e da velocidade de erodibilidade da praia e que exige reposições periódicas ao longo do horizonte de análise (Amorim et al., 2023).

5.3.1. Concepção e dimensionamento

Uma vez que a extensão da infraestrutura segue do estudo de caso, e é a mesma para a SBN (1,3 mil metros), inicia-se o dimensionamento da infraestrutura cinza por sua seção transversal. Esta foi concebida a partir da decomposição do enrocamento em suas camadas funcionais e dos elementos acessórios que garantem sua estabilidade ao longo da vida útil. Segundo Amorim et al. (2023), são três os componentes indissociáveis nesse tipo de estrutura, quais sejam: (i) a camada de proteção (ou armadura), que é responsável pela resistência à ação das ondas; (ii) a camada filtrante, que sustenta a armadura e drena a água subterrânea, impedindo o carreamento do solo de base; e (iii) a proteção de pé, que promove a estabilidade do conjunto e o protege contra assentamentos, recalques e remoção das bordas voltadas ao mar. Além destes, a drenagem do tardoz da mureta é acrescida para aliviar a pressão hidrostática e evitar o carreamento de material fino por trás da estrutura de arrimo.

Estas referências técnicas foram consultadas junto ao memorial descritivo de obra de enrocamento executada pelo Município de Angra dos Reis (2021), no qual são apresentadas as exigências construtivas. Trata-se de construção de canal em enrocamento de

pedra na orla da Monsuaba, com 412 m de extensão e seções típicas de 2,5 m e 3,5 m de altura. O piso construtivo adotado corresponde ao benchmark de enrocamento reportado por Amorim et al. (2023), que tomaram como referência essa mesma obra de Angra dos Reis, de R$ 6.504,54 por metro linear na data-base de janeiro de 2023, atualizado para dezembro de 2025 pela variação do INCC/FGV, conforme a rotina do item 1.4, o que resulta em R$ 6,73 mil por metro linear. Ancorado nesse piso, o dimensionamento da seção foi conduzido por calibração econômica reversa.

A intervenção de Monsuaba foi concebida para estabilizar margens e manter a orientação de curso d'água em orla abrigada, sem exposição à energia de ondas oceânicas (Angra dos Reis, 2021). Ainda assim, sua execução exigiu rocha de pedreira licenciada com as especificações necessárias para que o enrocamento cumpra sua função[76], além de escavação e regularização de base, geotêxtil, logística de transporte e administração local. O racional é que, se uma estrutura de contenção de menor exigência hidrodinâmica (sem energia de onda relevante) requer o patamar de dispêndio identificado, uma defesa frontal posicionada na faixa de praia de Copacabana, sujeita a ressacas e à ação direta do mar, não deveria custar menos.

De forma prática, essa metodologia evita o subdimensionamento implícito que resultaria da adoção de uma seção derivada apenas de parâmetros qualitativos de literatura; todavia, tem-se o estabelecimento de um limite inferior de dimensionamento com padrão de desempenho oceânico. Importante destacar que a calibração foi conduzida sobre o escopo completo da intervenção, englobando tanto seus elementos estruturais (rochas, gabiões manta etc.), como os serviços preliminares, mobilização de equipamentos, escavação, transporte de solo, administração local e BDI (que no caso de Angra dos Reis foi de 24,35%).

Geometria resultante

A partir do piso construtivo de R$ 6,73 mil por metro linear (Amorim et al., 2023, atualizado pelo INCC), foram adotadas outras premissas de geometria derivadas deste mesmo estudo, bem como do memorial descritivo de Monsuaba, notadamente a largura de crista, o formato dos taludes, a altura útil da mureta (que foi limitada pelo item correspondente de custeio no sistema referencial SCO-Rio) e a trincheira de engastamento do pé. A altura de talude, assim, foi resolvida em 2,40 m para o enrocamento hipotético em Copacabana. A seção transversal resultante e todos os quantitativos assumidos e derivados por cálculo consequente são apresentados na tabela abaixo, reforçando-se tratar de um pré-dimensionamento que atende aos propósitos do presente estudo. A Tabela 23 apresenta a geometria e os quantitativos resultantes.

Com base nas premissas e cálculos apresentados, o volume total de rocha, necessário para o custeio da obra, é de 17,20 mil m^3, dado pelo somatório do corpo do enrocamento com a proteção de pé. O dimensionamento aponta, ainda, para uma ocupação transversal da obra de 9,70 m, resultantes da base do trapézio e da trincheira de engastamento do pé. Uma vez que a área de análise definida para o estudo de caso corresponde a uma

[76] Segundo o memorial, a rocha deve ser sã, compacta e inalterável à ação dos agentes atmosféricos, ao ataque químico pela água e às alternâncias de imersão e emersão. A rocha deve ser isenta de substâncias vegetais, argilas e materiais intemperizados, bem como não pode apresentar fissuras ou superfícies de fratura. Finalmente, deve apresentar massa específica após saturação superior a 2,65 t/m^3 e resistência à ruptura por compressão simples superior a 0,5 t/cm^2.

faixa de 10 m de largura, medida perpendicularmente à linha de costa, nota-se que a alternativa cinza ocupa praticamente a totalidade do envelope espacial reservado, uma vez que não se computa a própria espessura da mureta. Trata-se de uma manifestação do fenômeno de *coastal squeeze* discutido na contextualização, no qual uma estrutura rígida dimensionada para resistir à energia de onda incidente demanda seção transversal proporcional a essa energia, requerendo espaço que acaba sendo subtraído da faixa de areia disponível ao uso público.

Tabela 23 - Geometria e quantitativos da alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana

Parâmetro	Valor	Unidade	Detalhamento
Extensão do trecho de orla	1.300	m	Delimitação da área de análise do caso de Copacabana
Altura do talude do enrocamento	2,40	m	Calibração ao piso construtivo (Angra dos Reis, 2021)
Largura da crista	1,50	m	Premissa derivada do memorial construtivo
Inclinação dos taludes	1,5:1	H:V	Premissa derivada do memorial construtivo
Largura da base do trapézio	8,70	m	Derivada diretamente da geometria
Área da seção transversal do enrocamento	12,23	m^2	Derivada da geometria
Trincheira de engastamento do pé	1,0 x 1,0	m	Premissa de proteção de pé, conforme
Altura útil da mureta de contenção	1,80	m	Limite do item de referência de custo, catálogo SCO-Rio
Volume de enrocamento (corpo da seção)	15.896	m^3	Área da seção multiplicado pela extensão
Volume de enrocamento (proteção de pé)	1.300	m^3	Seção da trincheira x extensão
Área de manta geotêxtil	12.605	m^2	Base do trapézio e trincheira multiplicado pela extensão
Área de mureta de contenção	2.340	m^2	Altura útil multiplicado pela extensão

5.3.2. Custos de implantação (Capex)

Os custos unitários dos serviços de obra foram extraídos do SCO-Rio, notando-se que nem todas as rubricas necessárias para a hipotética obra de proteção costeira figuram como linhas autônomas (notadamente as de natureza logística e de gestão de obra). Para essas, os quantitativos foram derivados por escalonamento proporcional a partir da planilha orçamentária da obra de Angra dos Reis. O procedimento consistiu em expurgar o BDI de 24,35% praticado naquele certame, calcular a razão entre cada rubrica complementar e o conjunto formado por enrocamento e manta geotêxtil, e aplicar essa razão à base correspondente em Copacabana. Para a administração local, a razão foi

calculada sobre o subtotal pré-administração, refletindo a forma como o item incide sobre o conjunto da obra naquela planilha.

O dimensionamento pressupõe que o enrocamento seja realizado mediante o emprego de pedra-de-mão arrumada, item orçamentário (DR 55.05.0503 do SCO-Rio) com custo unitário de R$ 252,25/m^3 incluindo o transporte do material pétreo. Conforme descrição dessa mesma metodologia no catálogo SICRO-DNIT, prevê-se o posicionamento manual das pedras de modo a se obter um conjunto estável e livre de grandes vazios ou engaiolamentos. A obra de referência utilizou pedras de 50 a 200 kg, muito embora seja comum, em obras de defesa costeira oceânica, a utilização de rocha substancialmente mais pesada. Caso a intervenção fosse realizada prevendo uso de armadura pesada, com pedras de até 1 t que requerem colocação por máquinas, o custo unitário seria mais elevado (de R$ 294,35/m^3, conforme item DR 55.05.0506 do SCO-Rio). Nesse cenário, embora o ajuste no custo fosse maior, o dimensionamento de toda a estrutura poderia ser revisto para menos, dada a diferença nas características resultantes de resistência às intempéries. Dada essa possível compensação, e visando manter coerência com a obra utilizada como benchmark, seguiu-se com o enrocamento com pedra-de-mão arrumada.

Uma vez que o transporte da rocha está contemplado nas composições de fornecimento, tanto no item do SCO-Rio, quanto na composição da obra de referência, essa rubrica se refere exclusivamente ao solo escavado destinado a bota-fora, calculada para distância média de transporte de 35 km, conforme parâmetro da obra de Angra dos Reis. Já o item de drenagem incorpora os barbacãs espaçados a 1,50 m verticalmente e 2,00 m horizontalmente, sendo medido pela área do muro.

Sobre o subtotal de serviços foi aplicado BDI de 20%, mesmo percentual adotado no projeto executivo de revitalização da restinga de Ipanema e Leblon (Biovert, 2026), preservando a comparabilidade entre as duas alternativas avaliadas neste estudo de caso. A Tabela 24 traz o orçamento detalhado, correspondendo aos quantitativos descritos anteriormente.

Tabela 24 - Orçamento de implantação da alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana

Item	Descrição do serviço	Referência	Custo unit. (R$)	Custo total (R$)
1	Enrocamento com pedra-de-mão arrumada (corpo)	SCO-Rio DR 55.05.0503	252,25/m^3	4.009.813
2	Enrocamento com pedra-de-mão arrumada (trincheira)	SCO-Rio DR 55.05.0503	252,25/m^3	327.925
3	Manta geotêxtil (filtro / separação)	SCO-Rio DR 65.05.0100	7,85/m^2	98.946
4	Mureta de contenção em alvenaria de bloco de concreto	SCO-Rio ET 50.05.0200	573,62/m^2	1.342.271
5	Drenagem de tardoz da mureta (inclusive barbacãs)	SCO-Rio DR 55.05.0350	17,52/m^2	40.997
6	Serviços preliminares, locação, mobilização/desmobilização	Angra dos Reis (2021)	0,0368 *	163.114

7	Escavação e regularização de base	Angra dos Reis (2021)	0,0280 *	124.107
8	Transporte de solo escavado para bota-fora (DMT de 35 km)	Angra dos Reis (2021)	0,1593 *	706.684
9	Recebimento, descarga e manobra do solo escavado	Angra dos Reis (2021)	0,0040 *	17.643
10	Espalhamento de solo e material de aterro	Angra dos Reis (2021)	0,0076 *	33.729
11	Administração local	Angra dos Reis (2021)	0,0623 *	427.692
-	**Subtotal sem BDI**			**7.292.920**
-	BDI (20%)			1.458.584
-	**CAPEX TOTAL A PREÇOS DE MERCADO**			**8.751.504**

* Razões adimensionais derivadas do orçamento de referência (Angra dos Reis, 2021).

O Capex de implantação da infraestrutura cinza de enrocamento e mureta de contenção totaliza R$ 8,75 milhões a preços de mercado, equivalentes ao piso orçamentário estabelecido na metodologia de R$ 6,73 mil por metro linear de obra. A estrutura de custos é dominada pelo corpo do enrocamento, que responde por 55,0% do total, seguido pela mureta de contenção, com 18,4%, e pelo transporte de solo escavado, com 9,7%. A participação do transporte de solo evidencia o peso da logística de movimentação de terra em obras dessa natureza, frequentemente subestimado em estimativas preliminares restritas aos elementos estruturais.

5.3.3. Custos de operação e manutenção (Opex)

A tabela de custos de referência empregada (SCO-Rio) não contempla rubrica específica de manutenção de enrocamento ou de muro de contenção costeiro. Tampouco a literatura técnica brasileira consultada apresenta séries de dispêndio observado que permitam derivar, diretamente, um coeficiente de manutenção para estruturas dessa natureza, embora os casos do Eixo 1 deste estudo tenham evidenciado a recorrência de dispêndios de manutenção. Amorim et al. (2023) qualificam o custo de manutenção do enrocamento como baixo e o prazo entre intervenções preventivas como longo, mas não atribuem valores monetários nem frequência de intervenção a esses atributos.

Na ausência de parâmetro nacional observado, recorreu-se à literatura internacional de engenharia e de planejamento costeiro, que converge para a expressão do Opex como um percentual anual do Capex[77]. O manual de projetos de obras costeiras do U.S. Army Corps of Engineers adota, em seus exemplos de custo anualizado, manutenção anual equivalente a 1% do custo inicial para revestimentos de enrocamento (USACE, 1995). Nicholls et al. (2017), em modelagem global de custos de defesa costeira, empregam igualmente 1% ao ano para diques marítimos (reservando 0,5% ao ano para diques fluviais em razão da ausência de ação de ondas). Já King et al. (2016), reportam frações maiores, de 2,5% a 3,0% ao ano, com base na experiência de muros marítimos na costa

[77] Prática também adotada no Brasil para outras tipologias de infraestrutura, como a hídrica, por exemplo (Brasil, 2022b).

da Califórnia. Um estudo técnico neozelandês[78] também considera faixas mais elevadas, de 2% a 5% ao ano, para a manutenção de muros de enrocamento empregados em contenções marinhas.

Adotou-se, para o presente caso, o parâmetro de 2% do Capex ao ano, mantido constante em termos reais ao longo de todo o horizonte de análise. Grosso modo, esse percentual se situa na faixa intermediária da literatura internacional, além de ser consistente com o parâmetro observado para as estruturas de contenção da orla de Paulista (PE), analisadas no Eixo 1 deste relatório. Essa escolha reconhece que uma defesa frontal exposta a ressacas em orla oceânica demanda regime de manutenção mais intenso que estruturas abrigadas. Cabe notar que, como o caso de Paulista evidencia, essa manutenção não considera eventuais episódios de falhas estruturais resultantes de ressacas mais fortes. O parâmetro visa cobrir, assim, a manutenção rotineira da estrutura, compreendendo inspeções periódicas, reposicionamento de blocos eventualmente deslocados, recomposição localizada de trechos do enrocamento, reparos na mureta, desobstrução dos elementos de drenagem e correção de erosão incipiente junto ao pé. Aplicando a fração de 2% sobre o Capex, tem-se que os custos de operação e manutenção da alternativa de infraestrutura cinza no trecho sul da Praia de Copacabana montem em R$ 175,03 mil por ano.

5.3.4. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa

Os orçamentos apresentados nas seções anteriores expressam custos a preços de mercado e, portanto, incorporam as distorções decorrentes da incidência de tributos indiretos, de subsídios e das imperfeições dos mercados de fatores. Conforme estabelece o Guia ACB, e de forma análoga ao que foi realizado para a intervenção com SBN, os valores de mercado foram convertidos para preços sociais mediante multiplicação pelos fatores de conversão do Catálogo de Parâmetros (Brasil e IPEA, 2022).

Dada a natureza do orçamento da infraestrutura cinza, os dois principais itens de custeio (enrocamento e mureta de contenção, que representam 73,4% do total) foram desagregados de forma pormenorizada, como se apresenta a seguir.

- O custeio do enrocamento foi desagregado entre materiais, mão de obra direta e serviços complementares. A pedra de mão, principal insumo físico da solução, representa cerca de 50% dos custos, e foi classificada como produto mineral não metálico. A mão de obra empregada apresenta participação típica de 30%, e foi convertida pela ponderação de 10/90 para mão de obra de maior e menor qualificação no Sudeste. Os demais serviços (escavação, regularização de base, carga, transporte etc.) foram agregados na composição dos demais 20%, convertidos pelo fator setorial de obras de infraestrutura. Essa estrutura foi aproximada da composição SICRO-DNIT. O fator médio ponderado resultante é 0,8908.
- A decomposição aproximada da mureta foi realizada em quatro grupos: materiais minerais não metálicos, 45%; produtos metálicos, 7%; mão de obra direta, 25%; e demais serviços, como máquinas, terraplenagem, transporte e serviços técnicos (23%). Essa estrutura foi calibrada a partir da composição SINAPI-Caixa de

[78] Apêndice técnico, Waikato Regional Council. Disponível em link.

muro de arrimo em blocos de concreto estrutural. Aos dois primeiros, foram aplicados os fatores de conversão dos grupos setoriais respectivos; à mão de obra, utilizou-se do fator ponderado da região Sudeste; às demais atividades, aplicou-se o fator de obras de infraestrutura. O fator médio ponderado resultante é 0,8963.

- Os demais itens, ainda sem BDI, apresentam desagregação mais complexa, e foram então convertidos pelo fator setorial de obras de infraestrutura, de 0,947.
- Por fim, a rubrica de BDI foi convertida pelo fator médio ponderado calculado para a cesta de itens sobre a qual incide (no caso, de 0,9042), mantendo a coerência entre a conversão dos custos diretos e da parcela de despesas indiretas.

A Tabela 25 apresenta os grupos acima descritos e os resultados dos cálculos, a preços sociais de 2025 para a alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana. O fator médio ponderado é de 0,9042 para o Capex da intervenção, fazendo com que o investimento de R$ 8,75 milhões a preços de mercado corresponda a R$ 7,91 milhões a preços sociais. Em termos unitários, o custo socioeconômico de implantação equivale a cerca de R$ 6,09 mil por metro linear de orla protegida.

Tabela 25 - Conversão a preços sociais da alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana

Grupo de insumo	Preço de mercado (R$)	Fator de Conversão	Referência do FC (Catálogo de Parâmetros)	Preço social (R$)
Enrocamento, minerais não metálicos	2.168.869	0,9600	FCS materiais minerais não metálicos	2.082.114
Enrocamento, MDO	1.301.321	0,7380	FCMO ponderado (10/90) para Região Sudeste	960.340
Enrocamento, serviços e materiais	867.548	0,9470	FCS obras de infraestrutura	821.568
Mureta, minerais não metálicos	604.022	0,9600	FCS materiais minerais não metálicos	579.861
Mureta, aço, telas, arames e ferragens	93.959	0,8850	FCS produtos metálicos	83.154
Mureta, MDO	335.568	0,7380	FCMO ponderado (10/90) para Região Sudeste	247.640
Mureta, serviços e materiais	308.722	0,9470	FCS obras de infraestrutura	292.360
Demais serviços e materiais	1.612.911	0,9470	FCS obras de infraestrutura	1.527.427
BDI	1.458.584	0,9042	Fator de conversão ponderado dos demais itens	1.318.892
TOTAL	**8.751.504**	**0,9042**	**Fator ponderado resultante**	**7.913.356**

Da mesma forma que para a alternativa de SBN, o mesmo fator ponderado do Capex (0,9042) foi aplicado aos custos de manutenção, fazendo com que o Opex anual de R$

175,03 mil a preços de mercado passe a ser de R$ 158,27 mil a preços sociais, representando o expurgo das distorções sistêmicas.

Resta, finalmente, alocar os valores de Capex e de Opex ao longo dos 30 anos de horizonte temporal, de forma a calcular o valor presente líquido dos dispêndios previstos. Assim como para a SBN, pressupõe-se que todo o dispêndio de capital ocorre no primeiro ano, com os custos de manutenção iniciando-se no ano seguinte e perdurando de forma linear até o último ano. A tabela abaixo apresenta os resultados dos valores descontados à taxa social de desconto de 8,5% a.a. (Brasil e IPEA, 2022) para o horizonte de 30 anos, expressos a preços constantes de 2025.

Tabela 26 - Custo socioeconômico total da alternativa de infraestrutura cinza em Copacabana

Componente de custo	Valor presente (R$)	R$ por metro linear	Participação (%)
Capex (implantação, ano 1)	7.293.416	5.610,32	82,4%
Opex (manutenção, anos 2 a 30)	1.555.004	1.196,16	17,6%
Custo socioeconômico total	**8.848.420**	**6.806,48**	**100,0%**

O custo socioeconômico total da alternativa de infraestrutura cinza, expresso em valor presente, alcança R$ 8,85 milhões, ou ainda R$ 6,81 mil por metro linear de orla protegida. A título de referência, o mesmo fluxo avaliado a preços de mercado totalizaria R$ 9,79 milhões, de modo que a conversão a preços sociais reduz o custo total em aproximadamente 9,6%. Os dispêndios de implantação respondem por 82,4% do custo social total em valor presente, sendo que a manutenção responde pelos 17,6% restantes, proporção característica de estruturas rígidas de longa vida útil, nas quais o maior empenho de capital se concentra no início do período.

5.4. Análise comparativa

5.4.1. Comparação dos custos de intervenção

O processo erosivo no trecho sul da Praia de Copacabana precisa ser endereçado, e para tal foram concebidas duas trajetórias de adaptação viáveis, avaliadas pelo custo socioeconômico de implantá-las e mantê-las: a de restauração natural com SBN e a infraestrutura cinza. Conforme destacado no item 1.3.2, muito embora as soluções não se igualem em desempenho hidrodinâmico, representam concepções igualmente plausíveis para o enfrentamento da problemática erosiva. Adicionalmente, ambas atendem ao mesmo trecho de 1,3 mil metros da orla, sob as mesmas convenções de horizonte temporal (30 anos), taxa social de desconto (8,5% a.a.), BDI (20%), coeficiente de administração local e sistema de custos de referência (SCO-Rio), de modo que os resultados se tornam diretamente comparáveis.

A Tabela 27 traz a comparação dos custos socioeconômicos das alternativas de intervenção, consolidando os parâmetros apurados nos itens acima. Permite identificar que a SBN é a opção de menor custo, representando cerca de 38% da alternativa cinza em valor social presente.

Tabela 27 - Comparação dos custos socioeconômicos das alternativas de intervenção em Copacabana

Parâmetro	SBN (cordão arenoso vegetado)	Infraestrutura cinza (mureta e enrocamento)	SBN / Cinza
Capex a preços de mercado (R$)	1.698.946	8.751.504	19,4%
Fator de conversão médio ponderado	0,9126	0,9042	-
Capex a preços sociais (R$)	1.550.489	7.913.356	19,6%
Opex anual a preços sociais (R$)	197.020	158.267	124,5%
Opex anual (fração do Capex a mercado)	12,71%	2,00%	--
Valor social presente total, 30 anos (R$)	**3.364.790**	**8.848.420**	**38,0%**
Valor presente por metro linear (R$/m)	2.588,30	6.806,48	38,0%
Participação do Capex no valor presente	42,5%	82,4%	-

Executar a proteção do trecho sul de Copacabana por meio da reconstituição de um cordão arenoso vegetado custa R$ 5,48 milhões a menos, em valor social presente, do que pela via da infraestrutura cinza, o que representa uma economia equivalente a R$ 4,22 mil por metro linear de orla protegida, ou ainda 62,0% do dispêndio socioeconômico. Dito de outro modo, o mesmo orçamento exigido pelo enrocamento com mureta (R$ 8,85 milhões) financiaria, pela via da SBN, a proteção de todo o trecho considerado e de adicionais 2,1 mil metros, perfazendo extensão suficiente para alcançar praticamente todo o arco central da praia.

A composição desse diferencial é bastante concentrada no investimento inicial, que é sensivelmente menor para a SBN (diferença de R$ 5,86 milhões). Na manutenção, no entanto, o Opex da SBN supera o da estrutura rígida em cerca de 25%. Nota-se que a manutenção do cordão arenoso inclui reposição vegetal, controle de espécies invasoras, manejo do cercamento, monitoramento topográfico e o elemento de comunicação com os usuários da praia ao longo de toda a vida útil (30 anos), ao passo que a estrutura rígida concentra o esforço financeiro no ano inicial. Cabe registrar, todavia, que o parâmetro de 2% ao ano para o Opex da infraestrutura cinza não incorpora eventuais episódios de falha estrutural por ressacas severas, cuja recorrência os casos do Eixo 1 (em particular a orla de Paulista) documentam como material. Esse é o efeito testado no item 5.4.3. Em valor presente, o diferencial de manutenção (R$ 381 mil) a maior para as SBN acaba diluído na economia total de capital obtida.

A robustez dessa hierarquia diante das premissas de manutenção e de Capex das duas alternativas é examinada no item 5.4.3. Já quanto ao Capex, reforça-se que a infraestrutura cinza foi concebida e orçada com base em um piso (inferior) de obra de enrocamento; a SBN, por sua vez, foi orçada não apenas pelo plantio de espécies de restinga, mas pela conformação de um cordão litorâneo de porte adequado, de modo que o diferencial desvendado entre as alternativas deve ser lido como conservador para a economia associada à via da SBN.

5.4.2. Externalidades e cobenefícios

Além da comparação de custos, nota-se que a solução natural mantém a troca sedimentar entre a berma e o cordão litorâneo, admite migração em resposta à elevação do nível médio do mar e gera cobenefícios de biodiversidade e valor paisagístico. A estrutura rígida, em contrapartida, oferece maior previsibilidade de desempenho sob eventos extremos e menor dependência de capacidade institucional continuada, ao custo de uma situação de *lock-in*[79] que restringe as opções de adaptação futuras. Mallette et al. (2021), em revisão sistemática da literatura de alternativas de adaptação costeira à mudança do clima, concluem que além dos custos, o risco percebido, a estratégia mais ampla e o contexto da intervenção são fatores determinantes, que por vezes condicionam escolhas socioeconômicas inferiores. Portanto, a comparação e a comunicação devem explicitar o desempenho de proteção e cobenefícios, sem apresentar natureza e segurança como objetivos opostos por definição.

Pegada espacial e perdas recreacionais

Importante salientar que ambas as alternativas de intervenção em Copacabana apresentam praticamente a mesma pegada espacial, ou seja, a mesma subtração de faixa útil de areia, o que as iguala em termos de promover consequências (positivas e negativas) relativas ao uso atual desse espaço. Por um lado, o espaço requerido para quaisquer das duas alternativas de controle erosivo desloca usos de lazer, gerando perdas recreacionais. A California Coastal Commission, por exemplo, utiliza como métrica do valor anual recreativo a multiplicação da área de praia pela densidade de frequentadores e pelo valor de uso diário (Coyle e Dethier, 2015). Por outro lado, a manutenção do processo de erosão que se verifica no local resultará em estreitamento progressivo da faixa de areia que terá, embora de forma menos abrupta, o mesmo efeito de redução de área útil de lazer. Aplicando a tendência histórica do trecho sul (cerca de 10 m de recuo em 60 anos), pode-se esperar a redução de mais 5 m no horizonte de 30 anos (sem contar a elevação do nível médio do mar).

Não obstante ocupem o mesmo espaço, existe uma diferença entre as alternativas que recai sobre a percepção dos usuários e da sociedade em geral, pois modificam-se os atributos estéticos e culturais da praia que foram consolidados ao longo de um século. Nota-se que a orla de Copacabana integra o sítio "Rio de Janeiro: Paisagens Cariocas entre a Montanha e o Mar", reconhecido pela UNESCO em 2012 como Patrimônio Mundial na categoria de paisagem cultural. O passeio de Copacabana é notório e apresenta acentuado valor patrimonial paisagístico contemporâneo, resultante da combinação de valores sociais, estéticos, econômicos, culturais e funcionais (Rey-Pérez, 2010). Logo, a alteração visual exatamente na interface praia e mar incide sobre um ativo urbano e cultural de alcance coletivo. Em Copacabana, a praia é simultaneamente espaço público recreativo, suporte de atividade econômica, defesa costeira e componente de uma paisagem cultural com valor intrínseco de alta relevância.

Uma defesa frontal de enrocamento com mureta implica interposição de estrutura rígida entre o calçadão tombado e a linha d'água, alteração do acesso lateral e da relação

[79] Situação em que decisões e investimentos realizados no presente criam dependência de uma determinada infraestrutura ou trajetória de adaptação, tornando alternativas futuras mais restritas, difíceis ou custosas de implementar (adaptado de IPCC, 2022).

visual entre cidade, praia e mar. Por essa razão, a infraestrutura cinza traz uma externalidade negativa de desamenidade, relacionada ao atributo estético-recreacional-cultural. A SBN, por outro lado, promove essa mesma externalidade para o lado positivo, conforme já se apresentou no caso da Praia de Ponta Negra, em Natal (Eixo 1). Além de exercer a função primária de moderação de perturbações, cordões litorâneos vegetados são promotores de serviços ecossistêmicos estéticos e culturais (relacionados à informação estética e à inspiração para a cultura) e ambientais (provisão de materiais, recursos genéticos e manutenção de fases importantes do ciclo de vida de espécies migratórias).

Percepção dos usuários e evidências de desamenidades

Os elementos rígidos na interface entre areia, mar e calçadão, sobretudo quando extensos e regularmente expostos, podem reduzir a naturalidade percebida, interferindo na continuidade das vistas e diminuindo, assim, a qualidade cênica do trecho de forma independente da área de areia. Evidente que a intervenção rígida pode ter elementos mitigadores, como integração paisagística, acessos qualificados e até componentes ecológicos. Não obstante, conforme Williams e Micallef (2009), os cinco principais atributos para a escolha de uma praia são: cenário, segurança, qualidade da água, instalações e ausência de resíduos. Se o cenário integra a utilidade da praia, sua degradação pode afetar a escolha, a frequência, a permanência, o consumo e a intenção de retorno.

Em um experimento de escolha com 840 respostas no Japão, Omori (2021) encontrou percepção majoritariamente negativa (60%) para a paisagem composta apenas por muros costeiros, mesmo quando os entrevistados reconheciam a função protetiva da infraestrutura. Com base em entrevistas junto a proprietários costeiros da Flórida, nos Estados Unidos, Barry et al. (2024) identificaram mecanismo semelhante, no qual a efetividade percebida justifica intervenções rígidas, embora a satisfação média seja maior em margens naturais (8,22 pontos) do que em margens armadas (7,38 pontos). O estudo permite concluir que a aceitação protetiva e a qualidade estética não são equivalentes, e que a preferência por uma obra rígida pode refletir aversão ao risco e proteção imediata do imóvel, mas sem eliminar a externalidade negativa paisagística.

A experiência da região de Noosa, na Austrália, mostra como tais externalidades podem ser incorporadas à decisão pública a partir de uma ACB de opções de proteção costeira. Assim como a presente análise demonstra, a opção de construção de muros em locais de alto risco trouxe um balanço inferior de benefícios e custos quando comparada à de restauração, revegetação e manejo de praias vegetadas. As estruturas rígidas gerariam perdas de 60% dos benefícios recreativos, redução de 14% do gasto turístico e de 44% nos benefícios de não uso (Noosa Shire Council, 2020), e embora não se refiram exclusivamente à qualidade cênica, demonstram que as desamenidades podem ser relevantes.

Cabe notar, ainda, o levantamento de preços hedônicos conduzido por Brucal e Lynham (2021) nas praias de San Diego e Santa Cruz, na California, Estados Unidos. Investigando o efeito de muros de contenção que protegem propriedades individuais, os autores não encontraram evidências de correlação positiva com o valor da residência protegida (ou seja, o ganho privado é nulo); no entanto, os muros apresentaram forte correlação negativa com o valor das propriedades vizinhas em Santa Cruz, mas não em San Diego,

sugerindo que o efeito depende de contexto e de outros atributos geográficos. Ressalta-se que Sanitwong-Na-Ayutthaya et al. (2023) registraram maior atividade econômica em praias com enrocamentos, o que reforça a dependência de contexto em qualquer análise de qualidade cênica.

Mensuração da perda cênica pelo Coastal Scenic Evaluation System

Nesse sentido, destaca-se o consagrado método de Coastal Scenic Evaluation System (CSES), desenvolvido por Ergin et al. (2004), que pontua 18 parâmetros físicos e 8 antrópicos em escala de 1 a 5 e os integra, por lógica difusa, no índice D. O método tem um longo histórico de aplicações, e se tornou referência por integrar parâmetros físicos e humanos, auxiliando na identificação de áreas paisagísticas de alto valor que necessitam de proteção, assim como de áreas onde a qualidade visual pode ser aprimorada (Rangel-Buitrago e Ben-Haddad, 2024). Segundo o método, sítios da Classe I correspondem a paisagens extremamente atrativas; no outro extremo, os da Classe V são associados a ambientes urbanos intensamente desenvolvidos e muito pouco atrativos. A Tabela 28 apresenta as classes do CSES e sua interpretação.

Tabela 28 - Classes cênicas do Coastal Scenic Evaluation System

Classe	Índice D	Interpretação
I	D ≥ 0,85	Sítio natural extremamente atrativo; valor paisagístico muito alto
II	0,65 ≤ D < 0,85	Sítio natural atrativo; valor paisagístico alto
III	0,40 ≤ D < 0,65	Predominantemente natural, com elementos antrópicos perceptíveis
IV	0,00 ≤ D < 0,40	Predominantemente urbano; pouco atrativo
V	D < 0,00	Urbano intensamente desenvolvido; muito pouco atrativo

Fontes: Ergin et al. (2004); Ergin et al. (2018).

No CSES, o parâmetro *utility* reúne elementos antrópicos visíveis, incluindo linhas de energia, tubulações, postes de iluminação, espigões, muros costeiros e enrocamentos. Sua escala atribui nota 5 quando não há utilidades, 4 quando existe uma, 3 quando existem duas, 2 quando existem três e 1 quando há mais de três (Ergin et al., 2018). Segundo o método, esse parâmetro tem peso antrópico próximo ao de ambiente construído e de *skyline*, ou seja, com relevância evidente na avaliação cênica. O sistema, no entanto, não possui uma nota universal e linear para cada tipo de atributo, sendo que o valor final do índice D depende do vetor completo de parâmetros e das matrizes de pertinência da lógica difusa; dessa forma, um mesmo rebaixamento ordinal pode produzir variações diferentes em praias distintas.

Embora uma aplicação do CSES para Copacabana esteja fora do escopo do presente estudo, existem contrafactuais na literatura que suportam uma razoável aproximação. Em um estudo de qualidade cênica das praias da Andaluzia, Espanha, duas tiveram modificações no resultado do índice D motivadas de forma exclusiva por alterações em um único parâmetro antrópico: em Las Negras, a alteração do parâmetro lixo de 3 para 5 pontos elevou o índice D de 0,57 para 0,69 (equivalente a 0,12); já em Los Álamos, a alteração do parâmetro ruído de 2 para 5 pontos elevou o índice D de 0,23 para 0,43 (equivalente a 0,20) (Williams et al., 2012). Esses exemplos fornecem uma ordem de

grandeza de aproximadamente 0,060 a 0,067 ponto de índice D por pontuação de parâmetro antrópico alterado, notando-se que *utility*, ruído e lixo apresentam pesos bastante semelhantes dentre estas categorias (respectivamente de 0,1344, 0,1362 e 0,1501).

Assumindo-se, com tudo mais mantido constante, que a implantação da alternativa de infraestrutura cinza no trecho analisado em Copacabana promova uma redução de ao menos um ponto no parâmetro *utility*, a nota do índice D deve cair em ~0,06 pontos. Na ausência do processamento integral da metodologia, trata-se apenas de uma ordem de grandeza, mesmo porque a categoria *utility* pode estar saturada, ou seja, com nota mínima que impeça a piora adicional. Mesmo assim, tem-se que o parâmetro é plausível para mensurar a consequência da piora cênica. Assumindo-se uma amplitude de 1,52 ponto para o índice D, tomando-se como referência a amostra de praias da Ilha de Santa Catarina, a variação de -0,06 ponto representa uma redução percentual de 3,95%, independentemente de haver ou não rebaixamento de classe. Essa amplitude advém do estudo de Oliveira et al. (2016), que aplicaram a metodologia CSES a 25 praias da Ilha de Santa Catarina, observando valores de índice D entre -0,40 em Ponta das Canas e 1,12, em Lagoinha do Leste[80].

A redução de 3,95% no índice D quantifica a perda de qualidade cênica em si, e não o comportamento econômico dela decorrente. Todavia, o elo entre uma e outra dimensão é bem estabelecido, e permite assumir a hipótese de proporcionalidade direta entre a deterioração cênica e a atividade econômica que dela depende. Em outras palavras, assume-se uma elasticidade unitária pela qual a perda percentual de qualidade do sítio se traduz em igual perda percentual do fluxo de gastos realizado naquele trecho.

Valoração da desamenidade

Para a valoração da externalidade de desamenidade, utiliza-se como base o estudo Economia das Praias do Rio (Pref. da Cidade do Rio de Janeiro, 2022), que sistematiza registros administrativos municipais, dados da PNAD Contínua/IBGE e pesquisas do Sebrae para dimensionar a atividade econômica que ocorre sobre a areia, considerando ambulantes, barraqueiros, escolinhas esportivas e agentes públicos de limpeza e ordenamento. O estudo estima esse impacto em R$ 2,0 bilhões por ano, calculados a partir dos gastos por pessoa, frequência de uso das praias e quantidade de ambulantes registrados. Trata-se do cenário mais conservador do estudo, expresso a preços de 2016, ano da pesquisa de gastos que o fundamenta; atualizado para 2025 pela variação do IPCA, conforme a rotina do item 1.4, esse valor coloca as receitas transacionadas nas areias cariocas em R$ 3,34 bilhões por ano.

Dos 2.189 ambulantes de praia registrados, 738 situam-se em Copacabana e Leme (equivalente a 33,71% do total). Já a extensão do trecho de intervenção, de 1,3 km, representa 31,32% do total destas praias (4,15 km), e permite estimar em cerca de 231 os ambulantes ali alocados. Seguindo o pressuposto do estudo da Pref. da Cidade, no qual o ambulante representa um alocador espacial coerente da economia das praias, chegando-se então ao valor de R$ 352,35 milhões de gastos no trecho específico de interesse. Finalmente, sobre este valor específico, incide o parâmetro de 3,95% de redução de utilidade cênica,

[80] Apenas três praias, ou 12% da amostra, foram classificadas na Classe I; 13 praias, equivalentes a 52%, ficaram nas Classes IV e V, sendo que os autores associaram as classes inferiores a paisagens modificadas, urbanização, múltiplos usos e poluição estética ou visual.

derivado do índice D, permitindo chegar em uma externalidade anual de aproximadamente R$ 13,91 milhões.

Assumindo-se que a externalidade negativa de desamenidade passe a ocorrer a partir do 2º ano, e siga inalterada até o 30º, seu valor presente líquido chega em R$ 136,65 milhões. Uma vez que o valor presente dos custos da intervenção com infraestrutura cinza é de R$ 8,85 milhões, tem-se uma externalidade 15,4 vezes maior. Em outras palavras, a cada R$ 1,00 de dispêndio social na alternativa rígida de controle de erosão, imputa-se R$ 15,44 de perdas na economia da praia. Quando a externalidade se soma aos custos, o valor presente líquido da alternativa monta em R$ 145,50 milhões, contra a opção de R$ 3,36 milhões da SBN.

Nota-se que os gastos realizados sobre a areia funcionam como base monetária para dimensionar a relevância econômica da amenidade oferecida pelo trecho de praia, e por essa razão, não cabem ajustes por deslocamento do gasto para outros trechos de Copacabana, outras praias ou outras atividades. Afinal, ainda que o frequentador do trecho sul redirecione integralmente seu consumo, a alteração de destino não elimina a perda de amenidade produzida no local. O valor, portanto, deve ser interpretado como métrica monetária da desamenidade estético-recreacional-cultural, e não como previsão de redução equivalente do produto, da renda ou do consumo total do município.

O cálculo dessa externalidade é, evidentemente, sensível à cadeia de transposição entre a queda do índice D e a consequência econômica derivada da desamenidade, cujos elos (queda do índice, normalização e elasticidade) são testados individualmente no item 5.4.3, que traz os testes de sensibilidade dos resultados.

Ademais, reforça-se que a métrica da valoração utilizada representa gastos na praia (transacional) e deve ser lida como um piso dos efeitos econômicos. Segundo a publicação de referência, a métrica não incorpora a receita obtida por quiosques, bares e restaurantes, tratando-se exclusivamente do comércio realizado na areia (Pref. da Cidade do Rio de Janeiro, 2022). Ficam igualmente fora os encadeamentos econômicos mais amplos, como os reflexos na hotelaria, no transporte, no comércio da retaguarda urbana, no valor imobiliário, nos valores de não uso e nos efeitos indiretos sobre a cadeia do turismo (agências, receptivos etc.).

A desamenidade aqui calculada é equivalente a externalidade auferida para a Praia de Ponta Negra em Natal (Eixo 1), relativa aos gastos turísticos. Assim como naquele caso, não é uma mensuração da utilidade ou de excedente do consumidor, pois não se aborda a satisfação obtida pelo frequentador, o valor recreativo da visita, nem a perda de bem-estar associada à degradação da paisagem. Afinal, uma pessoa que continue frequentando a praia com menor prazer, ou que permaneça menos tempo sem reduzir seu consumo, não aparece nessa contabilidade. Por consequência, a externalidade deve ser lida como um componente mínimo, monetariamente plausível, de uma perda de bem-estar mais ampla e não integralmente quantificada que é decorrente da mudança cênica promovida pela infraestrutura cinza.

É importante destacar que a desamenidade é imputada exclusivamente à alternativa de infraestrutura cinza, e não pode ser simultaneamente contabilizada como cobenefício da SBN. A razão é a própria mecânica incremental da ACB, na qual o cenário de cordão litorâneo vegetado é aquele em que a economia da areia permanece íntegra (não

prejudicada), de modo que a preservação desse fluxo já está refletida na comparação, por ausência de perda. O mesmo cuidado se aplica aos serviços estéticos e culturais associados ao cordão, mencionados acima. Embora os cordões vegetados sejam efetivamente promotores de informação estética e de inspiração cultural, esses atributos incidem sobre a mesma dimensão de qualidade cênica já capturada pelo parâmetro derivado do índice D, e por isso não são aqui monetizados.

5.4.3. Sensibilidade dos resultados

A comparação entre as alternativas para o trecho sul da Praia de Copacabana combina orçamentos construídos a partir de sistema referencial de custos com parâmetros transpostos da literatura e de precedentes locais, notadamente para os custos de manutenção e para a valoração da desamenidade. Para avaliar a robustez dos resultados, foram realizados testes univariados, nos quais cada premissa é alterada isoladamente, mantendo-se as demais constantes; testes combinados, que reúnem premissas simultaneamente favoráveis e desfavoráveis à alternativa de SBN; e o cálculo de valores de reversão, que indicam o patamar que determinado parâmetro precisaria atingir para igualar as alternativas. Todos os resultados, apresentados na Tabela 29, na Tabela 30 e na Tabela 31, estão expressos em valor presente, a preços sociais de 2025, descontados à taxa social de desconto de 8,5% a.a. ao longo do horizonte de 30 anos.

Custos diretos da alternativa de SBN

A premissa de maior influência sobre o custo da SBN é o parâmetro de manutenção, que responde por 57,5% de seu valor presente, e por isso foram realizados dois testes de sensibilidade. No primeiro, o Opex é restrito aos anos 2 a 10, período a partir do qual, conforme exposto no item 5.2.4, o cordão arenoso vegetado passa a estar plenamente estabelecido e já partícipe da paisagem. Nesse caso, o valor presente da manutenção cai de R$ 1,94 milhão para R$ 1,11 milhão, e o custo socioeconômico total da SBN para R$ 2,54 milhões, o equivalente a 28,7% do custo da infraestrutura cinza, ampliando a vantagem da alternativa natural em 15,0%.

No segundo teste, incorporam-se ao parâmetro unitário os aportes ao Projeto Restinga que não integram o montante de R$ 2,8 milhões adotado no cenário central, e de forma a compor um limite superior, a doação de 2024 é considerada integralmente, ainda que apenas parte dela se destine às orlas de Ipanema e Leblon, e o montante total, de R$ 6,4 milhões, é rateado pelos mesmos 10 mil m^2 de superfície restaurada ao longo de 17 anos (2009 a 2026), muito embora parte desses recursos financie a implantação de novas áreas de restauração. O parâmetro resultante, de R$ 37,65 por m^2 por ano, corresponde a 2,02 vezes o central, e eleva o Opex anual da SBN para R$ 435,40 mil a preços de mercado (R$ 397,35 mil a preços sociais), ou 25,6% do Capex ao ano. O custo total da SBN passa a R$ 5,33 milhões, ou 60,3% do custo da alternativa cinza, e a vantagem da SBN se reduz em 35,9%, para R$ 3,52 milhões.

Quanto ao investimento de capital, uma variação de ±30% no Capex da SBN procura capturar, entre outros fatores, a eventual necessidade de maior densidade de plantio ou de reposição de mudas ainda na fase de implantação. Como o Opex é derivado da superfície vegetada, e não do Capex, o custeio permanece inalterado. O custo total da SBN

varia entre R$ 2,94 milhões e R$ 3,79 milhões, correspondendo a 33,2% e 42,9% do custo da infraestrutura cinza, respectivamente.

Custos diretos da alternativa de infraestrutura cinza

O parâmetro de manutenção da estrutura rígida foi testado em toda a amplitude reportada pela literatura consultada no item 5.3.3. Se fixado no piso de 1% ao ano, em vez dos 2% aqui assumidos, o custo total da alternativa cinza cairia para R$ 8,07 milhões, mantendo-se 2,4 vezes superior ao da SBN. Mesmo desconsiderando-se integralmente o Opex da infraestrutura cinza, o que é implausível na realidade, a SBN permanece 2,2 vezes menos custosa em valor presente. No sentido oposto, testou-se a adoção de 3% a ao ano (limite superior do intervalo reportado por King et al., 2016); e de 5% ao ano (limite superior do intervalo considerado pelo estudo técnico do Waikato Regional Council).

Tabela 29 - Testes de sensibilidade dos custos diretos das alternativas em Copacabana (R$ milhões, VP)

Teste	SBN	Infraestrutura cinza	Vantagem da SBN	SBN / Cinza	Variação da vantagem
Cenário central	**3,36**	**8,85**	**5,48**	**38,0%**	**-**
SBN: Opex restrita aos anos 2 a 10	2,54	8,85	6,31	28,7%	+15,0%
SBN: Opex com aportes de 2024 a 2026	5,33	8,85	3,52	60,3%	-35,9%
SBN: Capex −30%	2,94	8,85	5,91	33,2%	+7,8%
SBN: Capex +30%	3,79	8,85	5,05	42,9%	-7,8%
Cinza: manutenção de 1% a.a.	3,36	8,07	4,71	41,7%	-14,2%
Cinza: sem manutenção	3,36	7,29	3,93	46,1%	-28,4%
Cinza: manutenção de 3% a.a.	3,36	9,63	6,26	35,0%	+14,2%
Cinza: manutenção de 5% a.a.	3,36	11,18	7,82	30,1%	+42,5%
Cinza: Capex −25%	3,36	6,64	3,27	50,7%	-40,3%
Cinza: Capex +25%	3,36	11,06	7,70	30,4%	+40,3%
Cinza: armadura pesada, mesma seção	3,36	10,00	6,64	33,6%	+21,0%
Cinza: armadura pesada, seção recalibrada	3,36	8,85	5,48	38,0%	-
Cinza: reconstrução de 25% no ano 15	3,36	9,43	6,07	35,7%	+10,6%

No Capex, uma variação ad hoc de ±25%, que representa a incerteza inerente a um pré-dimensionamento por calibração econômica reversa, faz o custo total da alternativa cinza oscilar entre R$ 6,64 milhões e R$ 11,06 milhões; como o Opex é definido como fração do Capex, ambos variam na mesma proporção. Mesmo no limite inferior, a SBN corresponde a 50,7% do custo da estrutura rígida. Já a especificação de armadura pesada, com pedras de até 1 t colocadas por equipamentos (item DR 55.05.0506 do SCO-Rio, de R$ 294,35/m^3), tem efeito distinto conforme a hipótese de dimensionamento. Mantida a seção calibrada, o Capex se eleva em 13,0%, para R$ 9,89 milhões a preços de mercado, e o custo socioeconômico total da cinza para R$ 10,00 milhões; trata-se de

estimativa inferior do efeito, uma vez que o item de referência exclui o transporte do material pétreo. Recalibrada a seção ao piso construtivo, por outro lado, a especificação mais pesada apenas reduz a seção viável, sem alterar o Capex nem o resultado.

Por fim, testou-se a ocorrência de falha estrutural, não coberta pelo parâmetro rotineiro de manutenção (à luz da evidência do caso de Paulista, Eixo 1). Adotou-se, assim, a hipótese de reconstrução parcial equivalente a 25% do Capex no ano 15, adicional ao Opex de 2% ao ano. O evento acrescenta R$ 0,58 milhão ao valor presente da alternativa cinza, que passa a R$ 9,43 milhões; o efeito é atenuado pelo desconto, dado que o dispêndio de R$ 1,98 milhões a preços sociais ocorre no meio do horizonte de análise.

Externalidade de desamenidade

A externalidade imputada à alternativa cinza depende de três elos de transposição: a queda do índice D associada ao rebaixamento do parâmetro *utility*, a normalização dessa queda em termos percentuais e a elasticidade que traduz a perda de qualidade cênica em perda proporcional do fluxo de gastos sobre a areia. Cada elo foi testado isoladamente. No elo da elasticidade, a adoção de uma resposta de 0,5, em vez da elasticidade unitária, reduz a queda do fluxo de gastos para 1,97% e a externalidade para R$ 6,95 milhões por ano, ou R$ 68,33 milhões em valor presente, ainda 7,7 vezes superior ao custo direto da própria obra. De forma mais restritiva, assumir uma queda de 1,00% no fluxo de gastos reduz a externalidade para R$ 3,52 milhões anuais, ou R$ 34,62 milhões em valor presente, e mesmo assim a desamenidade supera os custos diretos da intervenção em cerca de quatro vezes. Caso se assuma uma queda de apenas 0,10%, a externalidade passa a ser de R$ 352,35 mil por ano, ou R$ 3,46 milhões em valor presente, o mesmo nível de grandeza que o custo total da intervenção via SBN.

No elo da normalização, o cenário central expressa a queda de 0,06 ponto como fração da amplitude do índice D observada por Oliveira et al. (2016), de 1,52 ponto. A alternativa é normalizá-la pelo próprio nível do índice da praia, dado que a mesma perda absoluta representa perda relativa maior em sítios de menor qualidade cênica. Como o índice D de Copacabana não foi calculado, foram testados dois níveis de referência. O primeiro, de 1,12, corresponde ao maior valor observado naquela amostra (Lagoinha do Leste) e constitui a hipótese mais restritiva, pois pressupõe qualidade cênica equivalente à da praia mais bem avaliada; ainda assim, a queda resultante é de 5,36%, e a externalidade alcança R$ 18,88 milhões por ano, ou R$ 185,46 milhões em valor presente. O segundo, de 0,40, corresponde ao limite superior da Classe IV do CSES, associada a sítios predominantemente urbanos (Ergin et al., 2004; 2018), e resulta em queda de 15,0% e externalidade de R$ 519,28 milhões em valor presente. Caso a praia se enquadrasse na Classe V (D < 0,00), a normalização pelo nível deixaria de ser definida, razão pela qual a normalização pela amplitude é mantida no cenário central, sendo também a mais conservadora das três.

Por fim, no elo da própria queda do índice D, cabe reconhecer que o parâmetro *utility* pode já estar saturado em Copacabana, ou seja, com nota mínima que impeça a piora adicional pela introdução do enrocamento e da mureta. Nesse caso, a externalidade é nula e a comparação volta a se resolver exclusivamente pelos custos diretos, nos quais a SBN corresponde a 38,0% do custo da alternativa cinza, com vantagem de R$ 5,48 milhões.

Tabela 30 - Testes de sensibilidade da externalidade de desamenidade em Copacabana

Teste	Queda do fluxo de gastos	Externalidade anual (R$ milhões)	Externalidade em VP (R$ milhões)	Cinza com externalidade (R$ milhões, VP)	Externalidade ÷ custo direto da cinza
Cenário central	**3,95%**	**13,91**	**136,65**	**145,50**	**15,4x**
Elasticidade de 0,5	1,97%	6,95	68,33	77,17	7,7x
Queda do fluxo de gastos de 1,00%	1,00%	3,52	34,62	43,47	3,9x
Queda do fluxo de gastos de 0,10%	0,10%	0,35	3,46	12,31	0,4x
Normalização pelo nível, D = 1,12	5,36%	18,88	185,46	194,31	21,0x
Normalização pelo nível, D = 0,40	15,00%	52,85	519,28	528,13	58,7x
Parâmetro *utility* saturado	0,00%	0,00	0,00	8,85	0,0x

Cenários combinados e valores de reversão

O cenário combinado inferior reúne as premissas mais desfavoráveis à SBN: manutenção da infraestrutura cinza de 1% ao ano, manutenção da SBN incluindo os aportes de 2024 a 2026 e externalidade nula, pela hipótese de saturação do parâmetro *utility*. Mesmo nessas condições, a SBN custa R$ 5,33 milhões, contra R$ 8,07 milhões da alternativa cinza, o equivalente a 66,1%, com vantagem de R$ 2,74 milhões. O cenário combinado superior reúne a reconstrução parcial após falha estrutural, a manutenção de 3% ao ano e a externalidade central, elevando o custo total da alternativa cinza a R$ 146,86 milhões, dos quais R$ 10,21 milhões em custos diretos, contra R$ 3,36 milhões da SBN.

Tabela 31 - Cenários combinados e valores de reversão em Copacabana (R$ milhões, VP)

Teste	SBN	Cinza, custos diretos	Externalidade	Cinza, total	Vantagem total da SBN	SBN / Cinza total
Cenário central	**3,36**	**8,85**	**136,65**	**145,50**	**142,14**	**2,3%**
Combinado inferior	5,33	8,07	0,00	8,07	2,74	66,1%
Combinado superior	3,36	10,21	136,65	146,86	143,50	2,3%
Reversão: Opex da SBN de R$ 827 mil/ano (mercado)	8,85	8,85	136,65	145,50	136,65	6,1%
Reversão: queda do fluxo de gastos de 0,16%	3,36	8,85	5,48	14,33	10,97	23,5%

Os valores de reversão reforçam essa leitura. Para que as duas alternativas se igualassem em custo socioeconômico total, o Opex anual da SBN teria de alcançar R$ 827 mil a preços de mercado (R$ 755 mil a preços sociais), o que corresponde a 3,8 vezes o parâmetro estimado a partir do histórico do Projeto Restinga, a 1,9 vezes o parâmetro que incorpora os aportes de 2024 a 2026 e a 48,7% de seu Capex ao ano, patamar sem

qualquer respaldo na experiência local ou na literatura consultada. Já no âmbito da externalidade, basta uma queda de 0,16% no fluxo de gastos, equivalente a cerca de 0,0024 ponto de índice D na escala da amplitude adotada, para que a desamenidade, isoladamente, iguale toda a vantagem de custos diretos da SBN, de R$ 5,48 milhões. Esse patamar corresponde a cerca de 1/25 do parâmetro central.

Os testes indicam que a hierarquia entre as alternativas é insensível a todas as premissas testadas, isoladas ou combinadas. Entre os custos diretos, as premissas de maior influência são o Capex da alternativa cinza e o parâmetro de manutenção da SBN, mas nenhuma delas reduz a vantagem da alternativa natural para menos de R$ 2,74 milhões, patamar do cenário combinado inferior, no qual a SBN custa 66,1% da estrutura rígida. A externalidade de desamenidade é o componente de maior incerteza quanto à magnitude, variando de zero a R$ 519,28 milhões em valor presente conforme a hipótese adotada, mas opera exclusivamente no sentido de ampliar a vantagem da SBN; o valor central, de R$ 136,65 milhões, situa-se abaixo de ambas as alternativas de normalização pelo nível do índice D, e deve ser lido como estimativa prudente.

5.5. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência

Sob o referencial do Triplo Dividendo da Resiliência (Heubaum et al., 2022; Brandon et al., 2025), o caso de Copacabana se organiza na comparação prospectiva de duas trajetórias de adaptação concebidas para responder ao mesmo processo erosivo, no mesmo trecho de 1,3 mil metros e sob as mesmas convenções de horizonte, taxa social de desconto e sistema de custos. Sob o Triplo Dividendo da Resiliência, abordou-se aqui, o que foi monetizado na comparação, o que permanece fora dela e em qual das alternativas cada dimensão de valor se manifesta.

O primeiro dividendo, que são as perdas evitadas, não foi objeto de estimativa monetária neste caso, uma vez que ambas as alternativas foram concebidas como unidades autossuficientes destinadas a entregar o mesmo serviço de proteção da retaguarda urbana. Retoma-se que a tendência histórica do trecho sul de Copacabana traz cerca de 10 m de recuo em 60 anos, de modo que a inação implica em progressivo estreitamento, com efeito análogo, embora menos abrupto, ao da subtração de faixa útil promovida por qualquer das intervenções. Como o benefício de redução de risco é comum aos dois cenários, ele se anula na comparação incremental e a decisão se resolve pelo critério de menor custo socioeconômico para uma entrega equivalente. Nesse plano, a SBN protege o mesmo trecho por R$ 3,36 milhões em valor social presente, ou R$ 2,59 mil por metro linear, contra R$ 8,85 milhões e R$ 6,81 mil por metro da infraestrutura cinza, o equivalente a 38,0% do custo da alternativa rígida.

O segundo dividendo, que trata dos benefícios econômicos induzidos, é a camada de maior magnitude neste estudo de caso e se manifesta pelo seu avesso, ou seja, pela perda que a alternativa rígida impõe à economia da praia. A desamenidade estético-recreacional-cultural derivada da degradação cênica, estimada em R$ 13,91 milhões por ano e em R$ 136,65 milhões em valor presente, expressa exatamente o que o referencial do WRI descreve como sustentação de receitas e de atividade econômica proporcionada por uma orla funcional. Esse montante é atribuído exclusivamente à alternativa cinza e não é replicado como benefício da SBN, sob pena de dupla contagem. Trata-se,

ademais, de piso transacional, pois a métrica de origem contempla apenas o comércio realizado sobre a areia, sem quiosques, bares, restaurantes, hotelaria, transporte, comércio da retaguarda, valor imobiliário e valores de não uso.

Já o terceiro dividendo, que são os cobenefícios socioambientais, permanece apenas indicado neste caso. Os cordões litorâneos vegetados agregam informação estética, inspiração cultural, provisão de materiais, recursos genéticos e suporte a fases do ciclo de vida de espécies migratórias, além de habitat e conectividade ecológica. Sua não monetização decorre de opção metodológica destinada a evitar sobreposição com o atributo cênico já capturado pelo parâmetro derivado do índice D e, por consequência, torna o resultado apresentado conservador em favor da infraestrutura cinza.

A leitura conjunta das camadas mensuradas consolida um contraste de larga margem. Somando custos e externalidades a preços sociais de 2025, a alternativa de infraestrutura cinza alcança R$ 145,50 milhões em valor presente, dos quais 93,9% correspondem à externalidade de desamenidade e 6,1% ao dispêndio de implantação e manutenção, enquanto a alternativa de SBN permanece em R$ 3,36 milhões, integralmente compostos por custos diretos. Cada R$ 1,00 de dispêndio social na via rígida carrega R$ 15,44 de perdas imputadas à economia da praia, e mesmo no cenário combinado inferior do item 5.4.3, no qual a externalidade é anulada e a manutenção da SBN é duplicada, a alternativa natural mantém vantagem de R$ 2,74 milhões, custando 66,1% da estrutura rígida. Dois vetores tendem a ampliar prospectivamente essa assimetria: a exposição crescente da orla em contexto de elevação do nível relativo do mar e de alteração dos regimes de ondas e ressacas, que incide sobre uma solução rígida cuja capacidade de acomodação natural é nula, e o parâmetro de manutenção de 2% ao ano adotado para a estrutura cinza, que não incorpora episódios de falha estrutural cuja materialidade os casos do Eixo 1, em especial a orla de Paulista, documentam.

Conclusões

O caso de Copacabana demonstra, primeiramente, que a escolha pela SBN é menos custosa em termos de orçamento de obra. Caso a comparação se encerrasse nos custos diretos, a reconstituição do cordão arenoso vegetado seria a alternativa economicamente superior, por entregar proteção equivalente a 38,0% do custo social da defesa rígida. Ao se incorporar a externalidade de desamenidade gerada pela opção de obra rígida de contenção, a hierarquia deixa de ser uma questão de eficiência e passa a ser de ordem de grandeza, pois o valor estimado para a perda cênica supera em 15,4 vezes o próprio custo da obra que a provoca. A evidência aqui reunida indica que a via da SBN, além de custar significativamente menos para a sociedade, preserva simultaneamente a função de proteção, a economia da areia e o ativo paisagístico que sustenta ambas. Os testes de sensibilidade (item 5.4.3) confirmam que essa hierarquia independe das premissas adotadas: mesmo sem externalidade, com a manutenção da SBN duplicada e a da cinza no piso da literatura, a alternativa natural custa 66,1% da estrutura rígida.

6. Remoção de infraestrutura pública e recriação de habitat natural em Santos (SP)

Ficha-resumo

Intervenção necessária: Remoção de infraestrutura pública e recriação de habitat natural

- SBN: remoção de infraestrutura pública costeira, reconstrução de praia vegetada mediante reposição de areia e plantio de espécies de restinga.
- Infraestrutura cinza: manutenção e reforço de mureta e enrocamento.

Município: Santos, SP

Local: Ponta da Praia

Área de análise: 37.277 m^2, correspondente a aproximadamente 550 m de praia, considerando uma faixa de 68 m de largura média destinada à remoção de infraestrutura pública e reconstrução de cordão litorâneo vegetado, medida perpendicularmente à linha de costa na região superior da praia, indo desde o canal 6 até a altura da Rua Carlos de Campos.

Característica: Praia urbanizada que vem sofrendo com inundações na orla durante fortes ressacas e com intensa erosão na Ponta da Praia.



Figura 9 - Área do estudo de caso na cidade de Santos (SP), destacando a região da Ponta da Praia, trecho que vem sofrendo intensificação dos processos de erosão costeira e inundações durante eventos de ressaca (em amarelo)

Contextualização: A orla de Santos era originalmente composta por extensas praias associadas à vegetação de restinga, mas o crescimento urbano e as intervenções na linha de costa alteraram significativamente a paisagem e dinâmica costeira local. Embora a região apresente histórico de erosão costeira, houve uma intensificação do processo após 2010. Entre 2010 e 2017, foi registrado recuo horizontal da linha de costa de até 57 m no trecho mais erodido da Ponta da Praia, acompanhado pelo aumento da frequência de inundações durante eventos de ressaca.

O local constitui um estudo de caso representativo para comparar cenários de adaptação baseados na remoção de infraestrutura pública e reconstrução de praia vegetada em relação à implantação de infraestrutura cinza e seus custos recorrentes de manutenção e reparação para redução da exposição da infraestrutura urbana aos processos erosivos e às inundações costeiras.

6.1. Histórico socioambiental

Santos é um município do estado de São Paulo, localizado na Baixada Santista, litoral sudeste do Brasil, a aproximadamente 60 km da capital. Com pouco mais de 400 mil habitantes, apresenta elevada densidade populacional e um território fortemente urbanizado. Sua trajetória socioambiental foi profundamente moldada pela atividade portuária, pelos fluxos migratórios e pelos sucessivos processos de reconfiguração urbana ocorridos ao longo dos séculos XIX e XX, que determinaram formas cada vez mais intensas de ocupação e transformação da zona costeira (Moraes, 2007; Lisboa, 2020; Maziviero, 2016). Esse processo não se restringiu ao município de Santos. Os municípios vizinhos da Baixada Santista também apresentam elevada urbanização associada ao crescimento portuário. Como resultado da crescente urbanização e da expansão das atividades portuárias e náuticas, extensos trechos do litoral da Baixada Santista foram endurecidos, com a substituição ou fragmentação de ambientes naturais (praias, restingas e manguezais), por infraestrutura cinza como muros de contenção, enrocamentos, píeres e espigões (Pardal et al., 2024).

Essa configuração territorial se intensifica diante da exposição crescente aos efeitos das mudanças climáticas e da dinâmica costeira modificada pela urbanização integral do pós-praia de Santos, que exerceria a função de estoque natural de sedimentos. A baixada santista ocupa predominantemente uma planície costeira de baixa elevação, com extensas áreas úmidas e sujeitas a alagamentos, o que contribui para sua vulnerabilidade à elevação do nível relativo do mar, às ressacas e às inundações costeiras. Na Ponta da Praia, essas pressões são especialmente evidentes, pois o setor apresenta um processo de erosão costeira acelerada a partir de 2010, com taxas de recuo superiores a seis metros por ano nos trechos mais afetados (Rodrigues et al., 2021).

O processo erosivo tem sido associado, entre outros fatores, às alterações na dinâmica hidrossedimentar decorrentes das intervenções no sistema portuário, incluindo o aprofundamento do canal de navegação (Venancio et al., 2020; Oliveira, 2017). A sistemática de dragagem e descarte do material fora da Baía de Santos, segundo os autores, promove uma modificação na morfologia submersa da região, que originalmente era dissipativa e passou a ser reflexiva, permitindo a chegada de ondas cada vez maiores à costa.



Figura 10 - Imagens aéreas da região entre o Canal 6 e a Ponta da Praia, em Santos, mostrando a evolução da faixa de areia ao longo dos anos (fonte: Rodrigues et al., 2021).

A Ponta da Praia, assim, representa um exemplo particularmente relevante da interação entre urbanização costeira, alterações na dinâmica sedimentar e mudanças climáticas, cuja combinação tende a aumentar a exposição da infraestrutura costeira, favorecendo episódios de inundação e *overtopping* e contribuindo para a redução da faixa de areia (Ruiz et al., 2021; Stein e Siegle, 2020). Trata-se de um setor em que a elevada ocupação urbana e a presença de estruturas rígidas reduzem o espaço disponível para a adaptação natural da praia, enquanto a ocorrência de ressacas e a elevação do nível do mar aumentam a pressão sobre a infraestrutura existente. Esse processo favorece o chamado *coastal squeeze*, no qual a praia perde espaço para se ajustar naturalmente à elevação do nível do mar e à ocorrência de eventos extremos, ficando progressivamente comprimida entre o mar e a infraestrutura urbana.

Nota-se que o critério operacional adotado pelo poder público municipal para caracterização de ressaca reflete a geometria de exposição do município, sendo de ondas provenientes do quadrante sul (SSW a SSE) com altura significativa superior a 3,0 metros (Prefeitura de Santos, 2017). O evento de 21 de agosto de 2016, referência para uma ressaca muito intensa, teve medições de ondas superiores a 4,25 metros no fim da tarde, durante a passagem de uma frente fria. Nesse episódio, a elevação de maré atingiu 2,60 m, e os registros de nível do mar foram de 2,27 m (Rodrigues et al., 2021). Segundo estes autores, o acontecimento fez com que as avenidas Bartholomeu de Gusmão e Almirante Saldanha da Gama ficassem inundadas, assim como os pavimentos térreos de edificações da orla, nos quais as marcas de água atingiram 0,8 m.

A recorrência de intervenções públicas na orla fornece uma evidência adicional da pressão exercida sobre essa infraestrutura. Com base nos registros contratuais

disponíveis no Portal da Transparência da Prefeitura de Santos, foram identificados contratos relacionados a intervenções emergenciais, reconstrução ou manutenção da infraestrutura da orla nos anos de 2010, 2016, 2018, 2020, 2022 e 2025. Esses registros estão associados a eventos de ressacas extremas registrados nestes anos na orla de Santos, evidenciando a necessidade recorrente de investimentos para manutenção e recuperação de estruturas costeiras. Destaca-se o ano de 2022, quando foram registrados três contratos emergenciais relacionados à infraestrutura da orla, incluindo a recuperação de muretas da Ponta da Praia, com valores de R$ 3,25 milhões, R$ 1,12 milhão e R$ 723,6 mil (valores nominais). Em 2018, por sua vez, foi contratado um projeto-piloto especificamente voltado à minimização da erosão na Ponta da Praia, no valor nominal de R$ 2,98 milhões (ver Quadro 1).

Os gastos públicos com reparação das estruturas rígidas de controle de erosão e proteção na Ponta da Praia têm como gatilho eventos de ressacas e tempestades. Os episódios desses fenômenos, na Baía de Santos, estão associados à passagem de sistemas frontais e ciclones extratropicais (Campos et al., 2010). A composição dos eventos críticos se dá quando a maré astronômica elevada encontra sobre-elevação meteorológica e ondas de tempestade de quadrante sul; os episódios ocorreram de forma estável no intervalo de 1951 a 1990 (Campos et al., 2010). De acordo com o Plano Municipal de Mudanças do Clima de Santos, a partir dos anos 2000 o fenômeno passou a se tornar mais perceptível e frequente (Prefeitura do Município de Santos, 2016), sendo que o número de inundações associadas a ressacas passou de um máximo de quatro por ano, no intervalo de 1960 a 1991, para quinze registros no ano de 2010.

A recorrência de intervenções e a magnitude crescente dos recursos mobilizados para sua recuperação reforçam a necessidade de estratégias de adaptação que não dependam exclusivamente da reconstrução ou do reforço de estruturas rígidas. Nesse contexto, a recuperação de espaços costeiros e a ampliação de áreas capazes de absorver a energia das ondas e das marés de tempestade incluindo, quando tecnicamente e socialmente viável, a restauração de ambientes de restinga, podem constituir componentes importantes de uma estratégia de adaptação eficiente para lidar com as mudanças do clima neste caso.

O caso da Ponta da Praia, dessa forma, difere dos demais estudos de caso do Eixo 2 porque a infraestrutura cinza de proteção costeira não constitui uma alternativa a ser implantada, mas a condição pré-existente da orla. Mureta de contenção, enrocamento, calçadão e via costeira encontram-se instalados e em operação, fazendo com que a comparação econômica se dê entre a continuidade da trajetória atual e a alternativa de recriação de habitat natural mediante remoção da infraestrutura pública instalada.

Nessa configuração a mecânica da análise de custo-benefício se altera da seguinte forma: (i) o cenário de infraestrutura cinza não apresenta custo de capital inicial, sendo composto exclusivamente por dispêndios recorrentes de manutenção e por reinvestimentos periódicos de reforço e reconstrução parcial das estruturas; e (ii) o principal benefício econômico da alternativa de SBN passa a ser o dispêndio público e a geração de prejuízos privados que deixam de ocorrer. Trata-se de uma aplicação direta do conceito de custo de oportunidade.

O caso de Santos, portanto, se resume à comparação de dois cenários:

- Cenário base: manutenção da infraestrutura cinza existente; e
- Alternativa de SBN: remoção de infraestrutura urbana e recriação de praia com cordão arenoso vegetado.

Quadro 1 - Nota sobre as barreiras submersas de geotubos

Além da manutenção da infraestrutura rígida existente e da recriação de habitat natural, há uma terceira alternativa em curso no próprio trecho analisado, não incorporada à modelagem deste estudo de caso. Trata-se de barreira submersa em forma de "L", concebida por pesquisadores da Universidade Estadual de Campinas (Garcia et al., 2018), implantada em 2018[81]. A estrutura é composta por 49 geotubos de tecido geotêxtil de 30 metros de comprimento por 5 metros de largura, preenchidos com cerca de 300 toneladas de areia cada, retidada das proximidades, o que totaliza aproximadamente 7 mil metros cúbicos de sedimento. A geometria compreende um eixo transversal de 275 metros, avançando mar adentro a partir da mureta, e um trecho longitudinal de 240 metros paralelo à orla; os primeiros 75 metros, que permaneceriam emersos em maré baixa, foram recobertos por enrocamento[82]. O Capex da fase piloto foi de R$ 2,98 milhões, custeados por recursos compensatórios.

A solução acumulou areia nos primeiros anos de operação, com registro de 10,2 mil metros cúbicos no primeiro semestre de 2018 e ganho de altura da faixa de areia constatado em medições posteriores[83]. Os geotubos, entretanto, sofreram recalque em razão do solo mole característico da região e encontram-se cerca de 1,1 metro abaixo da linha d'água, com perda de eficiência e ocorrência de galgamento durante ressacas mais severas[84]. Encontra-se em licenciamento ambiental a ampliação do sistema para 1,4 quilômetro, no trecho entre os Canais 4 e 6, compreendendo duas novas barreiras de 500 e de 400 metros, extensão de 82 metros na estrutura longitudinal existente e reforma da estrutura transversal, com financiamento e execução a cargo da Autoridade Portuária de Santos no âmbito de termo de ajustamento de conduta relativo à dragagem[85].

Embora o uso das barreiras submersas pareça conformar uma segunda alternativa ao uso das SBN estudadas na presente análise, optou-se por sua não incorporação. Além de os valores da fase de ampliação não serem públicos, o sistema piloto integra fisicamente a orla analisada desde 2018 e, portanto, já estão incorporados ao cenário base. Ademais, seus proponentes descrevem a intervenção como solução de caráter híbrido, aproximando-a de um recife artificial, o que a situa fora da dicotomia analítica entre restauração ecológica e estrutura rígida convencional adotada neste eixo. Não obstante, o registro da iniciativa é relevante por demonstrar que a incerteza de desempenho não é um atributo exclusivo das Soluções baseadas na Natureza. Afinal, as estruturas de engenharia igualmente dependem de condições geotécnicas locais e podem perder eficácia, como o recalque observado sugere.

[81] *Unicamp cede projeto para conter erosão e recuperar praias em Santos*. Jornal da Unicamp. 16 fev. 2018. Disponível em link.
[82] *Primeiro 'bag' da barreira submersa para conter erosão é colocado na Ponta da Praia, em Santos*. G1 Santos e Região. 17 fev. 2018. Disponível em link. *Barreira com pedras é instalada em cima de 'bag' na Ponta da Praia*. G1 Santos e Região. 02 mar. 2018. Disponível em link.
[83] *Ponta da Praia ganha 10,2 mil metros cúbicos de areia após projeto contra ressaca*. G1 Santos e Região. 17 de ago. 2018. Disponível em link. *Pesquisadores apontam diminuição da erosão na Ponta da Praia, em Santos, após instalação de bags*. G1 Santos e Região. 21 de jul. 2021. Disponível em link.
[84] *Como funciona a barreira submersa inovadora em Santos para conter avanço do mar na praia*. O Estado de São Paulo. 11 jul. 2026. Disponível em link. *Projeto contra ressaca na Ponta da Praia é 'satisfatório', dizem especialistas*. G1 Santos e Região. 11 dez. 2018. Disponível em link.
[85] *Santos amplia uso de geotubos submersos para conter erosão na orla*. ABC do ABC. 25 jul. 2026. Disponível em link. *Mudança climática no litoral: Santos dá exemplo raro*. Mar Sem Fim. 27 jul. 2026. Disponível em link.

6.2. Cenário base: manutenção da infraestrutura cinza existente

O cenário base, ou contrafactual, corresponde à manutenção da estratégia atualmente em curso, na qual a proteção da retaguarda urbana da Ponta da Praia é assegurada pela mureta de contenção e pelo enrocamento existentes, mantidos e reforçados conforme a necessidade imposta pela recorrência de ressacas e pelo avanço do mar. Trata-se de um cenário de continuidade de uma política de intervenção reativa, cuja materialidade está documentada na sequência de contratos de recuperação da orla identificados desde o ano de 2010.

Uma vez que os ativos físicos são pré-existentes, há ausência de custo de capital inicial (Capex). Os ativos de proteção já existem e seu valor de aquisição constitui custo afundado (*sunk cost*), isto é, dispêndio pretérito irrecuperável que não é afetado pela decisão em análise e que, por definição metodológica, não integra o fluxo incremental da ACB (Brasil, 2022a). Essa condição é reforçada pelo fato de que a infraestrutura da orla santista foi implantada há décadas e, em grande parte, já cumpriu sua vida útil de projeto, tendo prestado serviço à cidade ao longo de todo um longo período.

Cabe distinguir, contudo, o custo afundado do investimento original do valor de uso corrente do ativo (que apresenta valor alocativo). O primeiro é irrecuperável e não integra o fluxo incremental; já o segundo, isto é, os serviços de circulação, lazer e contenção prestados pela orla atualmente construída, constitui custo de oportunidade da alternativa de remoção. Isso vale mesmo sendo o ativo público e mesmo não havendo qualquer pagamento associado à sua retirada (Brasil, 2022a). Uma vez que o titular do ativo removido e o executor da intervenção são o mesmo agente (o poder público municipal), não há transferência patrimonial a depurar. O custo econômico da retração se compõe, assim, de duas parcelas de natureza distinta: (i) a primeira sendo o consumo de recursos para demolir, remover, transportar e destinar o material, monetizado no item 6.3.1; (ii) e a segunda sendo o valor de uso preterido da infraestrutura, tratado qualitativamente no item de externalidades e cobenefícios (6.4.2).

Ademais, existe uma importante distinção entre manutenção rotineira (Opex) e reforço estrutural das estruturas (Capex). Ambos acabam sendo contratados sob rubricas de custeio ou mesmo de intervenção emergencial, razão pela qual são conjuntamente abordados no presente item. Mesmo assim, apenas o primeiro constitui despesa operacional em sentido estrito, pois o reforço, a substituição de trechos e a reconstrução parcial de mureta e calçadão, são reinvestimentos, ou seja, dispêndios de capital (tecnicamente classificados como Capex, e por vezes denominados de Repex pelo fato de se repetirem periodicamente). A principal diferença é que, na montagem do fluxo de dispêndios, estes reinvestimentos acabam configurando degraus, não perfazendo um fluxo linear comumente associado à manutenção. Essa separação, mais do que técnica, é necessária para que a projeção dos dispêndios futuros possa ser a mais verossímil possível. Cabe registrar, ainda, que o cenário base incorpora a barreira submersa de geotubos implantada em 2018 no trecho analisado, cujas características e situação atual são descritas no Quadro 1.

6.2.1. Custos pretéritos de operação e manutenção (Opex)

A projeção do custo operacional do cenário base exige, como ponto de partida, a **reconstrução do dispêndio histórico efetivamente incorrido pelo poder público** na manutenção e na reparação da infraestrutura de proteção da Ponta da Praia. Diferentemente dos estudos de caso de Natal e de Paulista, nos quais a resposta pública à erosão mobilizou instrumentos federais de transferência, em Santos não foram localizados termos de compromisso ou convênios federais associados à erosão costeira da orla. Tampouco as consultas ao Sistema Integrado de Informações sobre Desastres retornaram registros ou portarias de reconhecimento federal para o município sob a tipologia de interesse (ressacas, tempestades, erosão costeira). No entanto, foram identificados registros corriqueiros de recursos mobilizados pelo poder público municipal, além de provenientes de compensação ambiental decorrente de acidente portuário e, mais recentemente, de recursos próprios da autoridade portuária.

Contratos emergenciais identificados

O levantamento no Portal da Transparência da Prefeitura de Santos[86], realizado por busca de palavras-chave relativas a muro, mureta, enrocamento, orla e Ponta da Praia entre 1999 e 2026, identificou dez contratos com objeto relacionado à manutenção, à reparação emergencial ou à contenção da erosão. Estes contratos foram celebrados por dispensa de licitação ou qualificados como serviços emergenciais, padrão consistente com reparação reativa pós-evento, e não com manutenção rotineira programada. A leitura dos objetos contratuais revela que um deles teve como objeto outro trecho da orla, sendo excluído da estimativa. Ainda, dois outros são parcialmente atribuíveis ao trecho analisado, adotando-se o rateio de 20% para a Ponta da Praia, calibrado a partir da análise do objeto. A Tabela 32 apresenta os contratos públicos e os valores nominais atribuídos à Ponta da Praia, que somam R$ 7,67 milhões. Corrigindo os valores para 2025 pelo INCC, tem-se o total de R$ 11,24 milhões em dispêndios emergenciais.

Tabela 32 - Contratos públicos de manutenção, reparação e contenção para a Ponta da Praia

Ano	Contrato	Objeto resumido	Valor nominal atribuído (R$)
2010	056/2010	Reconstrução parcial do calçadão e mureta	71.224
2010	553/2010	Reconstrução parcial do calçadão e mureta	88.857
2016	207/2016	Manutenção emergencial muretas e calçadas	504.923
2018	442/2017	Projeto-piloto de geoformas em tecido geotêxtil	2.984.412
2020	26/2020-SESERP	Recomposição de tubulações e rede elétrica	1.005.609
2022	2/2022-SESERP	Recomposição de infraestruturas	650.275
2022	37/2022-SESERP	Serviços emergenciais na orla	1.116.576
2022	52/2022-SESERP	Recuperação de muretas	723.611
2025	353694/2025-SEINFRA	Obras emergenciais no calçadão	520.014

[86] Portal da Transparência, Prefeitura Municipal de Santos (SP). Disponível em link.

Os registros emergenciais supracitados não esgotam as despesas, principalmente as de natureza recorrente. Eis que as bases institucionais consultadas não permitem isolar os gastos com a Ponta da Praia, haja vista não haver critério de desmembramento das diversas atividades conduzidas pela Secretaria de Infraestrutura e Serviços Públicos e pelas empresas de prestação de serviços de engenharia contratadas.

Existem registros de que a conservação da orla é realizada por equipes públicas[87], além da mobilização de empresas contratadas por contrato guarda-chuva com diversas atividades no escopo. Após o evento de ressaca de 2016, por exemplo, equipes públicas e de empresas contratadas atuaram em conjunto na execução dos serviços de limpeza e manutenção[88]. Registros como estes comprovam a ocorrência física dos serviços, mas não fornecem noções de dispêndios ou mesmo de referências contratuais verificáveis com exclusividade para os eventos de interesse na Ponta da Praia.

Ou seja, salvo pelas ocorrências emergenciais já listadas na Tabela 32, deve-se recorrer à reconstrução de gastos a partir de outros elementos - notadamente dos quantitativos físicos identificados. Afinal, diversos registros jornalísticos e institucionais reportam os danos ocorridos à infraestrutura da orla da Ponta da Praia, a partir dos quais é possível reconstruir o custeio decorrente.

Reconstrução paramétrica a partir de registros jornalísticos ou institucionais

O procedimento de reconstrução paramétrica é análogo à lógica empregada no estudo de caso de Salinópolis, no qual a inexistência de registros monetários de perdas exigiu sua estimação a partir de parâmetros físicos. Estes quantitativos foram extraídos de diversas notícias jornalísticas e institucionais que registram extensões destruídas de mureta de 7 metros em 1999[89], 70 metros em 2001[90], 210 metros em 2005[91], 12 metros em 2011[92], 60 metros em 2016[93], 25 metros em 2019[94] e 190 metros em 2022[95], além de afundamento de 20 metros de calçada em 2010[96]. Para os trechos com mureta destruída, assumiu-se recomposição de faixa de calçada de 3,0 metros de largura ao longo da extensão afetada. Partindo dos quantitativos identificados nas notícias jornalísticas e institucionais, aplicou-se a construção mínima orçamentária de reparo por meio de preços unitários de sistemas referenciais de custos, na data-base de 2025, conforme se apresenta na Tabela 33.

[87] *Manutenção da orla é intensificada*. Prefeitura de Santos. 29 out. 2020. Disponível em link. *Força-tarefa faz manutenção na orla da praia de Santos*. Prefeitura de Santos. 24 nov. 2024. Disponível em link.
[88] *Prefeitura segue com serviços de limpeza na Ponta da Praia*. Prefeitura de Santos. 28 abr. 2016. Disponível em link.
[89] *Prefeituras começam a recuperar os estragos da ressaca na Baixada*. Folha de Londrina. 31 mai. 1999. Disp. em link.
[90] *Ressaca provoca destruição na orla*. Prefeitura de Santos. 08 mai. 2001. Disponível em link.
[91] *Ressaca atinge a orla de Santos*. Folha de São Paulo. 25 abr. 2005. Disponível em link.
[92] *Continua recuperação de calçadas e muretas danificadas pela ressaca*. Pref. de Santos. 05 mai. 2011. Disp. em link.
[93] *Mar invade avenida da praia e ressaca destrói muretas na orla de Santos*. G1 Santos e Região. 27 abr. 2016. Disponível em link.
[94] *Santos registra recorde do pico da maré e intensa ressaca destrói a tradicional mureta da orla*. G1 Santos e Região. 08 jul. 2019. Disponível em link. *Mar agitado destrói 25 metros de muretas na orla de Santos*. A Tribuna. 08 jul. 2019. Disponível em link.
[95] *Primeiro trecho de calçadão danificado após ressaca é liberado em Santos*. Prefeitura de Santos. 10 nov. 2022. Disponível em link. *Ressaca com ondas de 2 metros destrói calçada e causa danos em Santos*. Portal iG Santos. 11 de set. 2022. Disponível em link.
[96] *Ressaca provoca assoreamentos na orla*. Prefeitura de Santos. 15 ago. 2010. Disponível em link.

Tabela 33 - Parâmetros unitários adotados na reconstrução paramétrica

Componente	Unitário (R$) *	Fonte do preço unitário
Reconstrução de mureta de contenção, altura de 0,80 m	458,90/m	Composição de mureta em bloco de concreto do SCO-Rio, R$ 573,62/m² (caso de Copacabana)
Demolição do trecho danificado de mureta	9,80/m	SICRO-DNIT 1619003, R$ 61,24/m³, sobre seção de 0,16 m³ por metro
Carga e transporte do entulho, DMT de 50 km	19,10/m	SICRO-DNIT 5914675 e 5914344
Reconstrução de calçada e calçadão	110,02/m²	Composição de restauro de calçada do orçamento de recuperação da orla de Matinhos, R$ 78,54/m²
Remoção de areia depositada em vias e canais, DMT de 20 km	21,05/t	SICRO-DNIT 5914675 e 5914344

* Preços unitários na data-base de 2025, conforme catálogos de preços e demais referências.

A aplicação direta dos parâmetros físicos retorna estimativa de R$ 576,57 mil ao longo dos vinte e sete anos analisados, equivalentes a R$ 21,35 mil por ano. O confronto desse resultado com os contratos celebrados nos anos em que ambas as informações existem (2010, 2016 e 2022) revela que essa reconstrução via quantitativos listados em notícias captura entre 1,6% e 5,4% do dispêndio real. Em 2010, por exemplo, foram registrados R$ 426,97 mil em contratos, sendo que a reconstrução retornou R$ 6,71 mil (1,6%). Já em 2016, a reconstrução de R$ 49,07 mil representa 5,4% dos R$ 909,41 mil celebrados em contratos emergenciais. Por fim, em 2022, reconstruiu-se R$ 155,39 mil em dispêndios, enquanto os contratos apontam dispêndios de R$ 3,21 milhões (4,8%). Cabe registrar que a razão foi calculada com ambos os valores expressos com data-base de 2025.

Parte significativa dessa diferença está no próprio escopo dos serviços, haja vista que os registros de dano quantificam apenas os elementos mais visíveis e noticiáveis (a exemplo da extensão de mureta destruída), enquanto os contratos abrangem recomposição de tubulações, redes elétricas, iluminação, decks, bancos, ciclovia e pavimentos, além de mobilização emergencial, administração de obra e encargos. Os dispêndios públicos, na prática, são maiores do que revelam as contratações emergenciais. Adotou-se, por essa razão, fator de escopo de 20,6 vezes, correspondente à mediana das razões observadas nos três anos coincidentes (2010, 2016 e 2022), aplicado aos anos respectivos.

Com os dados disponíveis e a rotina de cálculo estabelecida, foi possível estimar a média de dispêndios em cada um dos 7 eventos que demandaram a reconstrução de mureta de contenção (R$ 825,33 mil), bem como a dos 8 eventos que demandaram a reconstrução de calçada e calçadão (R$ 505,95 mil) e dos 4 eventos de retirada de areia de vias e canais (R$ 517,94 mil). O cômputo final da reconstrução dos dispêndios unitários monta em R$ 11,90 milhões (preços de 2025), que, quando somados aos R$ 11,24 milhões identificados em contratos emergenciais, resultam em um valor global de R$ 23,14 milhões mobilizados pelo setor público municipal entre 1999 e 2025 para ações na Ponta da Praia.

Nota-se que os exercícios de 2000, 2002 a 2004, 2006 a 2009, 2012 a 2015, 2017 e 2024 (14 dos 27 anos considerados desde o primeiro dos registros, em 1999) permanecem sem

valor atribuído, por ausência simultânea de contrato localizado e de quantificação física do dano noticiado. Não obstante, torna-se plausível assumir que diversos destes exercícios exigiram gastos de reparação e manutenção, tornando a estimativa realizada uma referência de limite inferior.

Dois atributos do histórico reconstruído, em especial, orientam a projeção do cenário base para os próximos 30 anos: (i) o nível global dos dispêndios, cuja média anual é de R$ 857 mil, e fornece a ordem de grandeza do custo recorrente de manter a proteção costeira rígida em plena operação; e (ii) a trajetória dos dispêndios, haja vista que 76% deles se concentram nos últimos 10 anos. De forma a sustentar a hipótese de crescimento dos dispêndios ao longo do tempo, coerente com a intensificação do processo erosivo e com a recorrência crescente de eventos de ressaca, o item abaixo aborda as forçantes exógenas do processo erosivo na Ponta da Praia.

6.2.2. Forçantes exógenas do processo erosivo na Ponta da Praia

Não obstante haja indícios de causalidade entre as alterações de caráter antrópico e o agravamento das consequências desses eventos (Rodrigues et al., 2021; Venancio et al., 2020; Oliveira, 2017), sua expressão local é também condicionada pelas forçantes exógenas de caráter meteoceanográficas. O nível extremo total de água na Ponta da Praia pode ser compreendido pelo conceito de Extreme Total Water Level (ETWL), consolidado pelo IPCC (2021), que resulta da combinação entre o nível médio relativo do mar, a condição da maré astronômica, da maré meteorológica e da sobre-elevação por ondas.

De acordo com IPCC (2013), há baixa confiança nas projeções de mudanças na maré meteorológica propriamente dita, mas há alta confiança de que os sistemas costeiros experimentarão níveis extremos do mar mais frequentes em razão da elevação do nível médio do mar. Mesmo sob cenários de elevada forçante radiativa ao final do século XXI, o efeito da maré meteorológica e das ondas, sobre a altura de retorno de cem anos, situa-se na ordem de -0,4 metro a +0,3 metro. A variação total do nível extremo é, assim, dominada pela variação do nível médio do mar (IPCC, 2021). Dentre os termos que definem o ETWL, é exatamente o primeiro que dispõe de projeção regionalizada com média confiança e magnitude bem definida.

Segundo dados do portal da NASA para elevação do nível médio do mar na estação maregráfica de Cananéia, localizada no litoral sul do Estado de São Paulo e correspondente ao ponto disponível mais próximo da área de estudo, a elevação mediana prevista é da ordem de 0,25 metro até 2050 e entre aproximadamente 0,70 metro e 0,82 metro até 2100, conforme os cenários SSP2-4.5 e SSP3-7.0 (respectivamente)[97]. A Tabela 34 apresenta as projeções, que se referem à linha de base dada pelo nível médio dos anos entre 1995 e 2014, e contemplam os processos para os quais existe confiança média na projeção, apresentadas na tabela abaixo nas faixas correspondentes à mediana (50) e aos percentis 17 e 83.

Nota-se que todos os quatro cenários apresentam um aumento percentual significativo do nível médio do mar no período entre 2020 e 2030. Ademais, os aumentos projetados pelos diferentes cenários de emissões seguem muito próximos até aproximadamente

[97] IPCC AR6 Sea Level Projection Tool. NASA. Disponível em link.

2030, com medianas da ordem de 0,13 metro. A diferenciação entre os cenários se torna mais material a partir de 2040, e se amplia de forma significativa a partir de 2050. Até lá, no entanto, a tendência de elevação do nível médio do mar independe dos esforços globais de conter as emissões de gases de efeito estufa.

Tabela 34 - Variação total projetada do nível do mar na estação maregráfica de Cananéia (SP)

Cenário de emissões de GEE	Percentil	Metros de elevação em relação à linha de base 1995-2014						
		2020	2030	2040	2050	2060	2080	2100
SSP1-2.6	17	0,052	0,096	0,141	0,199	0,243	0,341	0,415
	50	**0,070**	**0,125**	**0,180**	**0,246**	**0,302**	**0,432**	**0,551**
	83	0,089	0,159	0,228	0,309	0,385	0,566	0,736
SSP2-4.5	17	0,053	0,101	0,149	0,214	0,275	0,402	0,542
	50	**0,070**	**0,126**	**0,186**	**0,264**	**0,337**	**0,501**	**0,687**
	83	0,088	0,158	0,233	0,332	0,425	0,645	0,901
SSP3-7.0	17	0,057	0,104	0,158	0,232	0,303	0,470	0,665
	50	**0,072**	**0,128**	**0,194**	**0,280**	**0,364**	**0,568**	**0,820**
	83	0,089	0,160	0,242	0,345	0,452	0,715	1,048
SSP5-8.5	17	0,050	0,100	0,163	0,243	0,321	0,506	0,733
	50	**0,070**	**0,130**	**0,202**	**0,295**	**0,389**	**0,619**	**0,905**
	83	0,091	0,167	0,253	0,367	0,487	0,787	1,168

Fonte: adaptado de IPCC AR6 Sea Level Projection Tool (NASA, 2026).

Os valores projetados para 2040-2050, embora possam parecer singelos, representam cerca de metade da sobre-elevação meteorológica extrema historicamente observada na região, estimada em 0,50 metro por Bonetti Filho (1996, apud Oliveira, 2017). Isso implica que, a médio prazo, a elevação do nível médio do mar tende a incorporar permanentemente ao nível de base 50% da parcela que hoje caracteriza um evento excepcional de maré meteorológica.

A consequência lógica é a translação da distribuição de níveis extremos, pois mesmo que não haja qualquer alteração na meteorologia (ou seja, mantidos constantes o clima de ondas e a frequência de ciclones), a elevação do nível médio do mar faz com que cotas de inundação hoje associadas a longos períodos de retorno passem a ser alcançadas por eventos progressivamente mais ordinários. Eis que também são projetados aumentos na intensidade de tempestades devido aos ciclones extratropicais extremos no Hemisfério Sul (Chang, 2017), de maior fluxo de energia de ondas na zona temperada sul (Mentaschi et al., 2017; Gramcianinov et al., 2023), bem como por tendências observadas de aumento dos extremos de altura de onda no Atlântico Sudoeste (Gramcianinov et al., 2023). Embora a magnitude dessa intensificação permaneça indeterminada, o sinal para o litoral central paulista é bastante evidente.

Com um nível médio do mar mais alto, a zona de arrebentação se desloca em direção à terra, aproximando-se das estruturas rígidas existentes, o que aumenta a reflexão de

ondas junto aos muros e o galgamento, e reduz a largura de praia disponível para dissipação. Esse mecanismo, que tende a se intensificar junto com as tempestades que os motivam, já opera sobre um trecho costeiro que não dispõe de pós-praia funcional como estoque sedimentar. Em consequência, pode-se projetar um agravamento progressivo nos eventos e nos dispêndios públicos com reparação da infraestrutura rígida de proteção associada.

6.2.3. Custos projetados de operação e manutenção (Opex)

Como ponto de partida para a projeção dos custos de manutenção e de reparação da infraestrutura rígida de proteção costeira na Ponta da Praia de Santos, toma-se a média anual gasta nos últimos dez anos, que é de R$ 1,75 milhão. A projeção desse fluxo para o horizonte de trinta anos, no entanto, deve incorporar uma função de crescimento associada aos vetores físicos que a determinam, notadamente a elevação do nível relativo do mar, a recorrência de ressacas e o déficit sedimentar do trecho.

Todavia, não cabe ao presente estudo realizar modelagem física, de forma que o rebatimento de aumento nos custos de manutenção e reparação da infraestrutura rígida deve ser realizado por aproximação. Nota-se, para tal, que a reconstrução dos dispêndios nos últimos 27 anos revela que a média recente é 2,05 vezes superior à média de todo o período (R$ 1,75 versus R$ 0,86 milhão). Uma forma de representar a perspectiva de incremento nos custos vindouros, então, é replicar essa mesma condição de mudança de patamar para o futuro.

Em linha com o aumento no nível médio do mar e a perspectiva de intensificação das tempestades, aloca-se duas mudanças de patamar ao fluxo de custos, uma a cada década (ou seja, nos anos 11 e 21), com a mesma ordem de grandeza que a observada no passado. A tabela abaixo traz os dados e os resultados dessa mecânica, que resulta em um valor presente líquido de R$ 31,32 milhões (preços de mercado na data-base de 2025) a partir da TSD de 8,5%.

Tabela 35 - Projeção do Opex do cenário base para a Ponta da Praia (preços de mercado)

Período	Opex anual (R$)	Fator de patamar	Soma nominal do período (R$)	Valor presente do período (R$)
Total (30 anos)	**-**	**-**	**126.700.466**	**31.315.421**
Anos 1 a 10	1.752.819	1,00	17.528.187	11.500.853
Anos 11 a 20	3.584.982	2,05	35.849.822	10.403.577
Anos 21 a 30	7.332.246	4,09	73.322.457	9.410.990

Nota-se que a distribuição do valor presente entre os três decênios é de respectivos 36,7%, 33,2% e 30,1%, demonstrando que, apesar de o dispêndio nominal do terceiro período ser quatro vezes o do primeiro, o desconto à TSD praticamente equaliza a contribuição relativa das três décadas. O valor anual equivalente da série, que representa a média descontada, fica em R$ 2,91 milhões e, embora a alocação nos anos 11 e 21 seja uma simples convenção, e não uma projeção modelada, o momento desses saltos altera a magnitude do resultado, mas não a hierarquia entre as alternativas (item 6.4.3).

6.2.4. Externalidade negativa associada ao risco de galgamento

Além dos dispêndios públicos de manutenção e reparação, a permanência da infraestrutura rígida como única estratégia de proteção impõe à sociedade uma externalidade negativa de natureza distinta: prejuízos privados. Conforme descrito no caso de Salinópolis, os desastres geram perdas que englobam tanto danos materiais como os prejuízos, correspondentes às atividades que deixaram de ocorrer, tanto no âmbito público quanto no privado. Sob esse enquadramento, os dispêndios públicos observados para a Ponta da Praia (item 6.2.1) expressam essencialmente a reparação do dano material à infraestrutura de proteção, embora haja possível sobreposição com prejuízos públicos devido ao método (imperfeito) de reconstrução. Estes prejuízos são decorrentes da interrupção de serviços urbanos durante e após os eventos, tais como a suspensão de trechos viários, a realocação de linhas de transporte coletivo, a mobilização de agentes de trânsito e de equipes de limpeza, além da indisponibilidade temporária de equipamentos públicos de lazer.

Os prejuízos privados, por sua vez, não foram ainda quantificados e valorados, muito embora figurem no rol de efeitos dos eventos de ressaca já listados no item 6.2.1 (incluindo outros, como o de setembro de 2023, que levou à interdição das avenidas, e o de julho de 2025, cuja reconstrução poderia levar um mês[98]). Uma das rotas para a projeção da interrupção de deslocamentos e de atividades econômicas durante as ressacas seria a do tempo de inatividade, multiplicado pela renda média do trabalhador do município, procedimento análogo ao empregado em Salinópolis. Optou-se, no entanto, pela via de preços hedônicos via desconto imobiliário como expressão da dimensão privada do risco. Essa rota dispensa hipóteses sobre duração de interrupção e número de agentes afetados, parâmetros para os quais não há registro sistemático na Ponta da Praia. Adicionalmente, existe uma robusta literatura empírica para capturar o efeito hedônico sobre o valor dos imóveis, ainda que seja sobre um estoque, e não sobre um fluxo.

Capitalização da amenidade costeira

Primeiramente, destaca-se que a literatura converge na constatação de que a proximidade ao mar é uma amenidade capitalizada, ou seja, comanda diferencial positivo de preços. Imóveis que compartilham das mesmas características serão, assim, mais valorizados quanto mais próximo estiverem da orla. Para a cidade de Recife, por exemplo, Seabra et al. (2016) analisaram transações residenciais e, a partir de georreferenciamento e correção de dependência espacial por modelagem, revelaram que a vista para o mar eleva o valor do imóvel em 13,3% como efeito direto e em mais de 16% quando incorporados os transbordamentos espaciais, enquanto o afastamento da praia reduz o preço em 4,8% por quilômetro no efeito direto e 5,9% no efeito total.

O prêmio, contudo, não decorre apenas da distância, mas também varia em função da qualidade física da praia. Pompe e Rinehart (1994), na Carolina do Sul, estimaram que ampliar a largura da praia de 21,3 para 24,4 metros estaria associado a acréscimos de US$ 6.408 para imóveis à beira-mar, US$ 2.196 a cerca de 805 metros e US$ 2.154 a 1,21 quilômetro. A largura da praia, assim, tem tradução de valor imobiliário, e Landry e

[98] *Mar avança na orla, cobre calçadas e interdita avenidas no litoral de SP*. G1 Santos e Região. 28 set. 2023. Disponível em link. *Ressaca abre crateras e destrói orla de Santos, SP; reconstrução pode levar um mês*. G1 Santos e Região. 30 jul. 2025. Disponível em link.

Hindsley (2011) estimaram disposição marginal a pagar entre US$ 71 e US$ 196 por metro adicional de largura de praia (em relação ao nível da maré alta). Gopalakrishnan et al. (2011), por sua vez, trataram a largura da praia como uma variável endógena, dado que praias valorizadas atraem mais alimentação artificial. Com esse controle, o coeficiente da largura mais que dobrou frente ao estimado por mínimos quadrados, sugerindo que a parcela do valor imobiliário atribuível à manutenção da faixa de areia é substancialmente maior do que se supunha. O resultado é relevante para a leitura econômica de perda de faixa de areia, uma vez que parcela expressiva do valor de um imóvel costeiro é, na prática, dado pelo controle de erosão, e não uma amenidade fixa ou garantida.

Prêmio de amenidade versus desconto de risco

Os autores supracitados abordaram a capitalização do mercado imobiliário pela amenidade, muito embora outros tenham como objeto de análise o risco de erosão e outros desastres, como inundações. Parsons e Powell (2001) estimaram o custo do recuo costeiro em Delaware ao longo de cinquenta anos, combinando regressão hedônica sobre transações imobiliárias e concluindo que cada faixa de 7,6 metros de afastamento da preamar reduzia o valor dos imóveis em 0,4%. Metodologicamente, os autores expurgaram da perda o prêmio de proximidade (amenidade), que simplesmente se transfere aos imóveis da retaguarda, tratando como perda social apenas a terra e o capital efetivamente eliminados.

De fato, Atreya e Czajkowski (2019), em Galveston, demonstraram que amenidade e risco não podem ser estimados isoladamente, pois imóveis em zonas de maior risco ainda comandavam prêmio quando situados a até 400 metros da costa, com o efeito mudando de magnitude e de sinal conforme a distância. Uma análise de síntese que reuniu 37 estudos e 364 estimativas documentou efeitos que variam de desconto de 75,5% a prêmio de 61,0%, concluindo que o aspecto positivo, quando ocorre em planícies de inundação costeiras, decorre de viés de publicação (Beltrán et al., 2018).

Bernstein et al. (2019) abordaram o risco de inundação isolando o prêmio de amenidade ao comparar imóveis vendidos no mesmo mês, no mesmo código postal, na mesma faixa de distância à costa, na mesma faixa de elevação e com a mesma tipologia, diferindo-os apenas no quesito de exposição à inundação. A partir desse controle, revelaram que imóveis nas áreas inundáveis negociam com desconto médio de 5,6% a 6,6%. Em outra meta-análise, Daniel et al. (2009) estimaram que um aumento de um ponto percentual na probabilidade anual de inundação está associado a uma diferença média de -0,6% no preço dos imóveis.

Estes parâmetros revelam, via precificação de mercado, a expectativa de ocorrência de danos. Quando o risco se materializa, no entanto, o desconto emerge sem ambiguidade. Segundo Ortega e Taspinar (2018), os imóveis danificados pelo furacão Sandy tiveram queda imediata de 17% a 22%, além de desconto gradual de cerca de 8% para imóveis não danificados na zona imediata de inundação. Do outro lado do Atlântico, Beltrán et al. (2019) estimaram redução de 21,1% nos preços de revenda nas áreas integralmente atingidas por inundação costeira na Inglaterra.

Conclui-se que há, de fato, precificação no mercado imobiliário quanto ao risco de desastres e de redução da área de praia. A evidência revista, todavia, é ampla e, em larga

medida, dependente de contexto. Os descontos no valor dos imóveis vão de 5,6% para o risco projetado (sem dano pretérito, conforme Bernstein et al.) até 22% para inundação costeira consumada. Nota-se, ainda, predomínio de estudos norte-americanos, cujo comportamento mercadológico imobiliário e regime institucional pode tanto amplificar quanto atenuar a capitalização do risco em uma transferência ao contexto brasileiro.

Aplicação à Ponta da Praia: parâmetro, estoque exposto e fluxo

Diante dos resultados revistos, adota-se a elasticidade ao risco estimada por Daniel et al. (2009), por se tratar de uma medida de sensibilidade do preço à variação de risco, e não de um desconto observado em condição local ou mercadológica específica. O objetivo, afinal, não é estimar o desconto verdadeiro do mercado santista, mas tão somente uma referência razoável e testável. A aplicação dessa elasticidade exige, contudo, uma medida de variação de risco, para a qual não se dispõe de curva local de probabilidade de excedência de galgamento na Ponta da Praia. Na ausência desse instrumento, adotam-se as projeções de elevação do nível médio do mar como proxy mais próxima da intensificação do risco, contrastadas com a sobre-elevação meteorológica extrema historicamente observada na Baía de Santos, de 0,50 metro, conforme destacado no item 6.2.2. A razão entre a elevação projetada e esse extremo histórico passa a ser denominada de *índice de intensificação do risco de galgamento*, e expressa quanto da parcela que hoje caracteriza um evento excepcional passa a ser incorporada permanentemente ao nível de base.

Cabe explicitar que a equivalência entre esse índice e a probabilidade anual de inundação à qual a elasticidade se refere é uma aproximação, e não uma identidade. O índice mede intensificação física da forçante, enquanto a elasticidade responde a variação de probabilidade; sua transposição pressupõe que incrementos no nível de base se traduzam, aproximadamente na mesma proporção, em maior frequência de cotas de galgamento hoje associadas a eventos raros. O procedimento é análogo ao adotado no estudo de caso de Salinópolis, no qual a série histórica de precipitação foi empregada como âncora para atribuir tempos de retorno aos eventos de inundação, mesmo reconhecendo-se que a pluviometria, isoladamente, não desvenda a ocorrência dos eventos, condicionados também pelo regime de marés. A hipótese, portanto, é instrumental e serve ao propósito de estabelecer ordem de grandeza.

Considerando a projeção mediana do cenário de emissões SSP2-4.5, que representa uma trajetória intermediária de emissões de gases de efeito estufa, a elevação em 2020 é de cerca de 0,07 metros, equivalente a 14,0% do extremo histórico de sobre-elevação. Para 2030, a projeção alcança 0,126 metro, ou 25,2% dessa referência. Assumida a proporcionalidade entre o índice de intensificação e a variação de probabilidade, o intervalo entre 2020 e 2030 corresponde a acréscimo de 11,2 pontos percentuais. Aplicada a elasticidade de Daniel et al. (2009), de -0,6% no preço dos imóveis por cada ponto percentual adicional de probabilidade anual de inundação, obtém-se redução de 6,72% no valor do estoque exposto, parâmetro adotado como representativo do acréscimo de risco vigente a partir de 2030. Mecânica idêntica é aplicada aos intervalos subsequentes, como mostra a Tabela 36, que traz o Índice de intensificação do risco de galgamento e desconto imobiliário projetado em Santos.

Tabela 36 - Índice de intensificação do risco de galgamento e desconto imobiliário projetado em Santos

Métrica	2020	2030	2040	2050
Mediana da projeção de elevação do nível médio do mar no cenário SSP2-4.5 (metros)	0,070	0,126	0,186	0,264
Índice de intensificação do risco, como fração do extremo histórico (0,50 metro)	14,00%	25,20%	37,20%	52,80%
Pontos percentuais de acréscimo no risco de uma década a outra	-	11,20	12,00	15,60
Redução no valor dos imóveis de uma década a outra, em decorrência do aumento no risco	-	6,72%	7,20%	9,36%

Fonte: elaboração própria a partir de NASA (2026), Bonetti Filho (1996, apud Oliveira, 2017) e Daniel et al. (2009).

Uma vez estimados os parâmetros de redução dos preços em função do aumento físico do risco de ressacas, resta estabelecer a métrica de valor do estoque imobiliário exposto, o que se pôde realizar com razoável precisão a partir de informações secundárias. O primeiro passo foi a identificação, via sistema de informações geográficas (SIG), dos 19 edifícios residenciais defronte ao trecho intervencionado na Avenida Bartholomeu de Gusmão, na Ponta da Praia. A área coberta pelas edificações foi calculada em 10,20 mil m^2 totais (média de 536,73 m^2 por edifício). Por inspeção visual da área via Google StreetView, assume-se que cada edifício tenha 10 pavimentos com unidades habitacionais (descontando garagens e térreo). Aplicando-se um fator redutor bastante conservador de 50% em relação à área medida, de forma a desconsiderar tanto as áreas comuns, quanto possíveis imprecisões do mapeamento espacial e aspectos específicos de vulnerabilidade de cada edifício, estimou-se haver 50,99 mil m^2 em imóveis expostos. Essa metragem representa unidades habitacionais de 134 a 268 m^2 (em edifícios com duas ou uma unidade por pavimento, respectivamente), o que é compatível com o padrão local.

O segundo passo é obter o valor referencial por m^2, que o índice FipeZAP indica ser de R$ 7.662 na cidade de Santos, na média para o ano de 2025[99]. Os imóveis na Ponta da Praia, especificamente, apresentaram um intervalo entre R$ 6,34 e R$ 12,85 mil/m^2, chegando a mais de R$ 15 mil em lançamentos de alto padrão na orla. Como forma de explicitamente desconsiderar o valor de amenidade, adota-se o resultado médio da cidade, e não o valor médio (mais alto) para o bairro, ainda que a faixa observada no bairro se inicie em patamar inferior (R$ 6,34 mil/m^2), hipótese testada no item 6.4.3. Multiplicando-se a metragem estimada em unidades habitacionais pelo valor unitário médio (R$/$m^2$), conclui-se que o estoque imobiliário é de R$ 390,68 milhões para o conjunto de 19 edifícios defronte à orla, no trecho de interesse.

Por fim, adota-se a rentabilidade média do aluguel (*rental yield*) como forma de aplicação da redução almejada em termos de fluxo, e não em termos de estoque. De acordo com esse índice para a cidade de Santos, na média dos últimos dez anos o aluguel mensal representa 0,617% do valor do imóvel (FipeZAP)[100]. Sobre o estoque de R$ 390,68 milhões, portanto, tem-se um *rental yield* anual de R$ 28,94 milhões. Sobre esse valor,

[99] *Preço do metro quadrado em Santos atinge R$ 7.662, com valorização de 11,68%*. Portal Terra. 08 jul. 2025. Disponível em link.
[100] Índice FipeZAP Residencial, *Rental yield* (% mensalizado). FIPE. Disponível em link.

aplicam-se os redutores referentes ao acréscimo cumulativo de risco climático, quais sejam: 6,72% entre 2030 e 2040, 13,92% entre 2040 e 2050, e 23,28% para os demais anos. Assume-se que os primeiros anos (2026 a 2029) já embutem a precificação do risco. Cabe notar que o desconto acumulado a partir de 2050 acaba superando tanto os descontos associados ao risco projetado sem dano pretérito (5,6% a 6,6%, conforme Bernstein et al., 2019) quanto os observados após inundações consumadas (de 17% a 22%, conforme Ortega e Taşpınar, 2018, e de 21,1%, conforme Beltrán et al., 2019). A sensibilidade dos resultados em relação a esse parâmetro, portanto, é testada no item 6.4.3.

O valor presente líquido final do fluxo de 30 anos, descontado à taxa de 8,5% a.a., é de R$ 21,98 milhões, resultado este que passa a representar a expectativa de prejuízo privado decorrente da maior vulnerabilidade às ressacas na Ponta da Praia. A Tabela 37 apresenta os resultados consolidados. Adicionalmente, aplicar o redutor de risco ao fluxo de aluguel por 30 anos produz uma métrica conservadora em detrimento à aplicação direta ao estoque, uma vez que o *rental yield* anual, de 7,40%, é inferior à própria TSD de 8,5%.

Tabela 37 - Valor presente do prejuízo privado associado ao risco de ressaca em Santos no cenário base

Período	Prejuízo Privado médio (R$)	Incremento no risco cumulativo	Soma nominal do período (R$)	Valor presente do período (R$)
Total (30 anos)	**-**	**-**	**100.171.334**	**21.976.873**
2026 a 2029	-	-	-	-
2030 a 2039	1.945.074	6,72%	19.450.745	9.208.955
2040 a 2049	4.029.083	13,92%	40.290.828	8.436.901
2050 a 2055	6.738.294	23,28%	40.429.762	4.331.017

Registra-se, por fim, que essa externalidade é imputada exclusivamente ao cenário base e não é replicada como cobenefício da alternativa de Solução baseada na Natureza, sob pena de dupla contagem: na mecânica incremental da análise, o cenário de praia vegetada é justamente aquele em que o estoque imobiliário permanece sem o desconto de exposição incremental ao risco, de modo que a preservação desse valor já se encontra refletida na comparação por ausência de perda. Cabe reforçar que em ambos os cenários (base e alternativa SBN), dois dos três componentes do risco seguem operando com a mesma magnitude: a exposição do estoque edificado; e a ameaça da elevação do nível médio do mar e da intensificação das tempestades. O que se assume diferente, portanto, é a componente da vulnerabilidade, haja vista que a recriação da faixa de praia e do cordão arenoso vegetado deve restituir espaço de acomodação, capacidade de dissipação de energia e reserva sedimentar mobilizável durante eventos extremos. Uma vez que nenhuma das alternativas teve seu desempenho hidrodinâmico aferido por modelagem específica, reconhece-se que essa premissa é favorável à alternativa de SBN e, portanto, é testada no item 6.4.3.

6.2.5. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa

A estimativa para os próximos 30 anos do custeio de manutenção e de reparo das estruturas rígidas que compõem o cenário base deste estudo de caso expressa custos a preços de mercado. Estas cotações incorporam as distorções decorrentes da incidência de tributos indiretos, de subsídios e das imperfeições dos mercados de fatores, cabendo sua conversão para preços sociais, conforme método ACB (Brasil, 2022a). Os valores anuais de Opex já descritos na Tabela 35 (item 6.2.3) foram então convertidos pelo fator médio ponderado de 0,9042, espelhando o desdobramento de obras dessa natureza (enrocamento e mureta) já detalhados no caso de Copacabana (item 5.3.4).

Quanto ao valor estimado de redução no valor dos imóveis, por medir perda de bem-estar revelada em disposição a pagar, não se lhe aplicam fatores de conversão de insumos. Uma vez que a somatória dos custos de manutenção e reparo (Opex) com a externalidade negativa associada ao risco de galgamento totaliza os custos sociais do cenário base, tem-se a conclusão da estimativa do custo total dessa opção. A tabela abaixo apresenta os resultados.

Tabela 38 - Custo socioeconômico total do cenário base (infraestrutura cinza) em Santos

Componente de custo	Valor presente (R$)	R$ por metro linear	Participação (%)
Opex (manutenção e reparo)	28.316.284	51.484	56,3%
Externalidade (prejuízo privado)	21.976.873	39.958	43,7%
Custo socioeconômico total	**50.293.157**	**91.442**	**100%**

O custo socioeconômico total associado ao cenário base (ou contrafactual), expresso em valor presente, monta em R$ 50,29 milhões, ou ainda R$ 91,44 mil por metro linear de orla, considerando a extensão de 550 metros de intervenção. Esse custo representa a continuidade da estratégia atualmente em curso, na qual a proteção da retaguarda urbana da Ponta da Praia é assegurada pela mureta de contenção e pelo enrocamento existentes, mantidos e reforçados conforme a necessidade imposta pela recorrência de ressacas e pelo avanço do mar. Em valor presente, observa-se que os dispêndios públicos constituem mais da metade dos custos totais (56%), com os prejuízos privados compondo os demais 44%.

6.3. Alternativa de SBN: recriação de habitat costeiro

A alternativa de Solução baseada na Natureza consiste na remoção da infraestrutura pública costeira instalada no trecho analisado, seguida da recriação de uma praia vegetada mediante reposição sedimentar e plantio de espécies nativas de restinga, visando devolver à praia o espaço de acomodação de que ela carece, permitindo que o perfil praial migre, que a faixa de areia se ajuste sazonalmente e que a reposição sedimentar tenha maior permanência do que teria em uma condição confinada.

De forma a compor uma unidade autossuficiente de análise, contemplando todas as obras e serviços necessários ao cumprimento integral dos objetivos da alternativa, organizam-se em sete módulos:

- M1. Demolição, remoção de infraestruturas construídas, terraplenagem;
- M2. Carga, transporte e destinação de resíduos em local licenciado;
- M3. Serviços preliminares (M3a, na remoção, e M3b, na recriação do habitat);
- M4. Reposição sedimentar e conformação de areia;
- M5. Reforço estrutural temporário e cercamento;
- M6. Plantio de espécies de restinga; e
- M7. Monitoramento e tratos culturais até o estabelecimento da vegetação.

Os módulos M5, M6 e M7 seguem a concepção detalhada no estudo de caso de Copacabana (item 5.2), cuja base técnica é o Projeto Restinga, executado nas orlas de Ipanema e Leblon, e cujas especificações de cercamento, densidade de plantio e monitoramento são diretamente transponíveis a este caso. Os módulos M1 a M4, por sua vez, são específicos de Santos e não possuem correspondência no caso carioca. Dada a natureza distinta da retração urbana e da recriação da praia com cordão litorâneo vegetado, estas são abordadas individualmente nos subitens abaixo, embora componham conjuntamente a estratégia de SBN.

6.3.1. Remoção da infraestrutura pública existente

O presente item aborda o dimensionamento e o orçamento a preços de mercado dos três primeiros módulos da alternativa de SBN, quais sejam: M1. Demolição, remoção, terraplenagem; M2. Carga, transporte e destinação de resíduos em local licenciado; e M3a. Serviços preliminares e administração local (canteiro, sinalização, desvios provisórios de tráfego, mobilização e desmobilização de equipamentos).

Diferentemente do caso de Copacabana, no qual a restauração do cordão arenoso vegetado ocorre sobre faixa de areia disponível e sem supressão de estruturas existentes, em Santos a intervenção exige a retirada prévia dos elementos construídos que hoje ocupam a interface entre a cidade e o mar e incluem: pista de rolamento e respectivas camadas de base e sub-base, calçada e pisos, guias e sarjetas, mureta de contenção e enrocamento, rede de abastecimento de água, rede de coleta de esgoto sanitário, rede de distribuição elétrica, postes de iluminação pública, bancos e demais mobiliário urbano presentes na área. A remoção da mureta e do enrocamento, e não sua manutenção soterrada sob o cordão vegetado, visa conceder à praia recriada o espaço de acomodação que a alternativa busca restabelecer. Não há edificações na área intervencionada.

A figura abaixo detalha a área de infraestrutura urbana a ser removida, delimitada por interpretação de imagens e vetorização em ambiente SIG. A extensão linear da orla, de 550 metros, tem projeção horizontal total de 37,28 mil m^2, sendo 1,20 mil m^2 referentes ao enrocamento.



Figura 11 - Área detalhada da retração urbana (polígono preto) e dos edifícios sob risco de galgamento (em cinza), Ponta da Praia, Santos

Quantitativos de remoção

Para a conversão da área de intervenção em volumes de demolição, em volumes transportáveis e em massa, adotaram-se os seguintes parâmetros: peso específico de superfícies construídas 2,5 t/m^3; peso específico de material de primeira categoria de 1,8 t/m^3; e fator de empolamento de 1,4 (uniforme para todas as classes de superfície e estrutura, por simplificação). A rotina de cálculo foi a seguinte:

- Volume in situ (m^3) = área (m^2) × espessura equivalente (m);
- Volume solto (m^3) = volume in situ × 1,4 (empolamento);
- Massa a transportar (t) = volume in situ × 1,8 ou x 2,5, a depender do material; e
- Momento de transporte (tkm) = massa × distância média de transporte.

O momento de transporte é a unidade em que os sistemas referenciais de custos medem carga, manobras, descarga e transporte de materiais, o que torna a conversão para massa etapa necessária do orçamento apresentado na sequência. Considerou-se uma distância média de transporte (DMT) de 50 km para a remoção e destinação do material excedente proveniente das escavações, reconhecendo a limitação de áreas disponíveis na condição insular e estuarina da cidade de Santos e dos gargalos de circulação de veículos pesados associados aos acessos portuários. Pelos mesmos motivos, considerou-se o emprego de caminhão basculante de 6 m^3, de custo unitário mais elevado em relação à opção de basculantes de maior capacidade (14 m^3, por exemplo). Postes de iluminação pública, bancos e demais mobiliário urbano não foram contabilizados como

resíduo, assumindo-se que possam ser reaproveitados em outros logradouros do município, condição que neutraliza os custos de sua remoção. Os quantitativos resultantes são apresentados na tabela abaixo.

Tabela 39 - Quantitativos de remoção de infraestrutura pública na Ponta da Praia

Componente	Medida de base	Espessura ou altura (m)	Volume in situ (m^3)	Volume solto (m^3)	Massa (t)
Pavimentos, calçadas etc.	36.080 m^2	0,50	18.040	25.256	45.100
Mureta de contenção	550 x 1 m	1,80	990	1.386	2.475
Enrocamento	1.197 m^2	2,00	2.394	3.352	5.985
Terraplenagem	36.080 m^2	1,35	48.708	68.191	87.674
Total	-	-	**70.132**	**98.185**	**141.234**

Adotou-se 0,50 m como espessura uniforme para as estruturas de pavimento e demais camadas granulares. Para a altura da mureta de contenção, partiu-se de 0,80 m de degrau entre o passeio e a superfície da areia, adicionada de 1,00 m acima do passeio. Para o enrocamento, e com base em observações locais, foram considerados 2,00 metros. Já para a terraplenagem, o valor assumido de 1,35 m decorre da média de dois balizadores: (i) a somatória das alturas do pavimento e da mureta (1,30 m); e (ii) o balizador externo dado pelo projeto executado na praia paranaense de Matinhos (IAT, 2021), no qual o item de execução de proteção e defesa costeira orçou 17.837,35 m^3 de escavação mecânica em material de 1ª categoria sobre 12.625 m^2 de área desmatada e limpa, ao longo de 2.525 m de orla, o que equivale a uma profundidade média de 1,41 m.

A adição de terraplenagem reconhece que a retirada do revestimento não é necessariamente suficiente para restabelecer o perfil praial, pois abaixo dele permanecem as camadas de aterro urbano que elevaram a cota do terreno ao longo do processo de urbanização da orla. Além da questão geométrica da intervenção, e salvo a eventual necessidade de remoção de sub-base inadequada, observa-se que a Ponta da Praia se assenta sobre solo mole saturado, condição documentada pelo próprio recalque dos geotubos, fazendo com que escavações abaixo do nível do lençol freático, a poucas dezenas de metros da linha de costa, requeiram ensecadeira e esgotamento. Com esse racional, toma-se a profundidade de terraplenagem de 1,35 m como um limite superior e com fins de conservadorismo orçamentário.

Orçamento de remoção

Conforme capítulo metodológico (item 1.4), os custos unitários foram extraídos do sistema de preços SICRO-DNIT para o estado de São Paulo, na data-base de outubro de 2025, consultados na condição onerada. Adicionalmente, sobre o subtotal de serviços incidem os serviços preliminares, calculados pela razão de 3,68% derivada da planilha orçamentária da obra de referência do caso do Rio de Janeiro (item 5.3), bem como a fração referente à administração local (coeficiente de 6,23%). O BDI adotado é de 20%, idêntico ao aplicado às duas alternativas daquele caso.

A área de intervenção também pode vir a comportar redes de infraestrutura urbana de saneamento (água e esgoto) e de distribuição elétrica que demandam recolocação, para

além do mobiliário urbano e outros equipamentos públicos, como sinalizações. Para esses componentes, não foram identificadas composições referenciais aplicáveis, tampouco quantitativos cadastrais que permitissem sua mensuração física. Dessa forma, e a favor do conservadorismo, considerou-se um valor arbitrado de R$ 200 mil para cada uma das três rubricas. A Tabela 40 apresenta o orçamento resultante da aplicação dos quantitativos acima elencados aos preços unitários, com data base de 2025 e preços de mercado.

Tabela 40 - Orçamento de remoção da infraestrutura pública na Ponta da Praia

Item	Descrição do serviço	SICRO-DNIT	Custo unit. (R$)	Custo total (R$)
M1	**Demolição, remoção de infraestruturas construídas, terraplenagem**			**1.543.246**
1.1	Demolição mecânica de concreto simples (pavimento)	1619006	43,57/m³	786.003
1.2	Demolição mecânica de concreto armado (mureta)	1619003	61,24/m³	60.628
1.3	Remoção mecanizada de rocha (enrocamento)	4915738	6,38/m³	15.274
1.4	Escavação e carga de material (terraplenagem)	4016096	1,67/m³	81.342
1.5	Realocação de redes de saneamento (água e esgoto)	arbitrado	-	200.000
1.6	Realocação de rede de distribuição elétrica	arbitrado	-	200.000
1.7	Desmontagem e realocação de outros itens	arbitrado	-	200.000
M2	**Carga, transporte e destinação de resíduos em local licenciado**			**7.016.896**
2.1	Carga, manobra e descarga de material demolido	5914675	3,25/t	459.012
2.2	Transporte com caminhão basculante (6 m³)	5914344	0,89/tkm	6.284.931
2.3	Espalhamento de material em bota-fora	4413942	2,78/m³	272.954
M3a	**Serviços preliminares (canteiro, mobilização, sinalização, desvio de tráfego etc.)**			**848.310**
3.1a	Serviços preliminares	Caso RJ	0,0368 *	315.013
3.2a	Administração local	Caso RJ	0,0623 *	533.297
-	**Subtotal sem BDI**			**9.408.453**
-	BDI (20%)			1.881.691
-	**CAPEX TOTAL A PREÇOS DE MERCADO**			**11.290.144**

* Razão adimensional derivada do orçamento de referência de dimensionamento para a infraestrutura cinza do estudo do caso de Copacabana, item 5.2.

O Capex de remoção da infraestrutura pública (módulos 1 a 3 da alternativa de SBN) totaliza R$ 11,29 milhões a preços de mercado, equivalentes a R$ 302,87 por metro quadrado de área intervencionada ou ainda a R$ 20,53 mil por metro linear de orla. O módulo 1, de demolição de infraestrutura, representa 16,4% do subtotal dos serviços, observando-se que a estrutura de custos é fortemente dominada pela logística de transporte e destinação dos resíduos (módulo 2), que responde por 74,6% do subtotal. Caso os serviços de terraplenagem sejam considerados isoladamente, somam 44,3% do subtotal (R$ 4,17 milhões). Essa composição revela que o maior custo não está na demolição, mas sim no manejo dos volumes gerados. A decisão de projeto com maior impacto

orçamentário é, assim, a profundidade de terraplenagem e a distância de destinação do material, e não a tipologia das estruturas removidas.

Nota-se que parte das escavações pode ser reaproveitada como material de aterro em outras obras municipais, hipótese que dispensaria a destinação em bota-fora. Todavia, o custo de destinação final responde por parcela reduzida do orçamento, sendo que o transporte, que ocorreria de todo modo, é o componente dominante. Os valores apresentados, ademais, expressam custos a preços de mercado e, portanto, ainda incorporam tributos indiretos e demais distorções que serão posteriormente retiradas pela aplicação dos fatores de conversão do Catálogo de Parâmetros.

6.3.2. Recriação do habitat costeiro

O presente item aborda o dimensionamento e o orçamento a preços de mercado dos quatro últimos módulos da alternativa de SBN, quais sejam: M3b. Serviços preliminares e administração local; M4. Reposição sedimentar e conformação do cordão arenoso; M5. Reforço estrutural temporário e cercamento (proteção de pé em materiais reversíveis, cerca de retenção sedimentar e cercamento contra pisoteio); M6. Plantio de espécies de restinga; e M7. Monitoramento e tratos culturais. Além destes, abordam-se os custos recorrentes de operação e manutenção (Opex) associados.

Concluída a remoção da infraestrutura pública, a alternativa de SBN prossegue com a recriação do habitat costeiro, composta pela reposição sedimentar de toda a área intervencionada e pela conformação de um cordão arenoso vegetado ao longo da orla. A concepção segue todos os módulos definidos para o estudo de caso de Copacabana (item 5.2), com as mesmas linhas orçamentárias de reforço estrutural temporário, cercamento de proteção contra pisoteio, plantio de espécies nativas associadas à vegetação de restinga, irrigação de implantação e monitoramento (no primeiro ano refletidos no Capex, e nos demais anos no Opex), alterando-se apenas as medidas, substancialmente maiores neste caso, e acrescentando-se a reposição sedimentar.

Sobre este último item, de reposição sedimentar, adota-se como pressuposto que o material será proveniente da dragagem de manutenção do canal de acesso ao Porto de Santos, prática que já ocorre de forma parcial no trecho, uma vez que a Prefeitura já deposita na Ponta da Praia areia retirada dos Canais 2 e 3, ainda que em volume insuficiente para compensar o processo erosivo. Importante registrar que, conforme o histórico socioambiental (item 6.1), existem evidências de acoplamento entre a dinâmica sedimentar da Ponta da Praia e as intervenções no canal de navegação do Porto de Santos (Venancio et al., 2020; Oliveira, 2017), justificando que a areia lançada tenderia a se depositar no canal, cuja manutenção já exige a dragagem recorrente para preservar a profundidade operacional do canal. Todavia, a premissa dessa alternativa de intervenção é que a remoção da infraestrutura urbana possa modificar a condição de contorno sob a qual aquele diagnóstico foi formulado, dado que a situação atual é de uma praia confinada por estruturas rígidas, sem espaço para acomodar o perfil, enquanto a alternativa cria esse espaço antes de repor o sedimento. Seguindo Amorim et al. (2023), a vida útil da engorda depende diretamente do grau e da velocidade de erodibilidade da praia, e a necessidade de reposições periódicas ao longo do horizonte de análise (permanência do volume sedimentar reposto) constitui a principal incerteza do caso. Por essa razão ao Opex é adicionado um ciclo de reengorda equivalente a 40% do volume a

cada 10 anos, conforme relatos nas demais localidades abordadas no Eixo 1 do presente estudo (Natal e Paulista).

Concepção e dimensionamento

Nas condições específicas da Ponta da Praia, a intervenção ocorre sobre área da qual foram retirados o pavimento e o aterro urbano subjacente, de modo que a totalidade dos 37.277 m² precisa ser preenchida e renaturalizada, o que resulta em uma largura média da faixa de análise de 68,00 m, haja vista a extensão linear ser de 550 m. Uma vez que o trecho apresenta processo erosivo ativo e histórico recorrente de galgamento durante ressacas, assume-se que o cordão arenoso deve assumir o porte mais robusto possível, ocupando 2/3 da área disponível. Adotou-se, assim, a altura de 4,00 m para a crista do cordão (sobre a cota final do terreno), com largura de crista de 24,00 metros e taludes resultantes com inclinação de 20,6º, deliberadamente mais suave que o intervalo de repouso de areia seca (30 a 34º), representando uma condição que dispensa confinamento estrutural, tende a favorecer o estabelecimento da vegetação e mantém a estrutura semifixa, ou seja, transitável em caso de necessidade. A base resultante é de 45,33 m, o que ainda preserva cerca de 22,7 m de praia seca utilizável na largura média da área de intervenção e visa acomodar eventuais migrações naturais consequentes. A tabela abaixo apresenta a geometria e os quantitativos do habitat costeiro a ser recriado na Ponta da Praia.

Tabela 41 - Geometria e quantitativos da recriação do habitat costeiro na Ponta da Praia

Parâmetro	Valor	Unidade	Detalhamento
Extensão do trecho de orla	550	m	Extensão da mureta
Área total a renaturalizar	37.277	m²	Delimitação da intervenção
Altura da crista do cordão arenoso	4,00	m	Premissa de projeto
Largura da crista	24,00	m	Premissa de projeto
Inclinação dos taludes	2,67:1	H:V	Equivalente a 20,6º
Largura da base do cordão	45,33	m	Derivada da geometria
Área da seção transversal	138,67	m²	Derivada da geometria
Volume de areia - reposição de cota	48.708	m³	Volume de terraplenagem
Volume de areia - cordão arenoso	76.267	m³	Derivado da geometria
Desenvolvimento de cada talude	11,39	m	Comprimento inclinado da face
Superfície vegetada total*	25.731	m²	Perímetro vegetado
Quantidade de arbustos	2.573	un.	1 a cada 10 m²
Extensão de cercamento	1.100	m	Face com mar e retaguarda
Volume trincheira de proteção de pé	276	m³	Seção de 1,00 m por 0,50 m **

* A superfície vegetada corresponde ao desenvolvimento inclinado dos taludes somado à crista, e se constitui em base de cálculo do plantio e da manutenção. ** Escalonada a partir do caso carioca em função da altura do cordão.

Custos de implantação (Capex)

O volume total de areia a remanejar, que inclui a reposição de cota e a formação do cordão, é de 124,98 mil m^3, equivalente a aproximadamente 227 m^3 por metro linear. Adota-se que a reposição sedimentar tem como fonte a areia proveniente da dragagem de manutenção do canal de acesso ao Porto de Santos, que dispõe de equipamento mobilizado com frequência, além do histórico recente de financiamento de obras de proteção costeira. Nota-se que o volume requerido pela alternativa de renaturalização representa cerca de 31% do que foi dragado no mês de julho de 2025, abrangendo o canal de navegação e áreas de berços de atracação (APS, 2025[101]). Essa condição permite desconsiderar do orçamento o custo de mobilização e desmobilização de draga, que em obras de engorda isoladas pode constituir parcela fixa expressiva.

Já como parâmetro de custo unitário para o remanejamento da areia, adotou-se o edital de contratação das obras de recuperação da orla do município paranaense de Matinhos (IAT) de 2021, previsto em R$ 38,96/m^3 (sem BDI) para a operação de draga autotransportadora (TSHD) com jazida a 4 km, incluindo montagem das linhas de recalque, lançamento e conformação mecânica do material. Descontando-se os 5% desse valor referente à mobilização e desmobilização da draga (conforme edital), desnecessários no caso santista, o parâmetro corresponde a R$ 51,85/m^3 atualizado para 2025 pelo INCC.

Os custos das demais linhas orçamentárias seguem as composições do SCO-Rio, empregadas no estudo de caso de Copacabana, uma vez que os demais sistemas referenciais de preços (SICRO-DNIT e SINAPI-Caixa) não contemplam rubricas de fornecimento e plantio de espécies vegetais, cercas de retenção sedimentar e monitoramento fitossanitário. O investimento de capital (Capex) para a recriação do habitat costeiro na Ponta da Praia é apresentado na Tabela 42, a preços de mercado.

Tabela 42 - Orçamento de recriação do habitat costeiro na Ponta da Praia

Item	Descrição do serviço	Ref. Sistema de Custo	Custo unit. (R$)	Custo total (R$)
M4	**Reposição sedimentar e conformação do cordão arenoso**			**6.479.936**
4.1	Reposição de cota	Matinhos (IAT)	51,85/m^3	2.525.510
4.2	Reposição e conformação do cordão	Matinhos (IAT)	51,85/m^3	3.954.427
M5	**Reforço estrutural temporário e cercamento**			**223.425**
5.1	Proteção em saco de solo-cimento	ET 70.05.0100 *	28,08/un	110.314
5.2	Manta geotêxtil de separação	DR 65.05.0100 *	7,85/m^2	4.318
5.3	Cerca de retenção em PEAD	PJ 15.10.0900 *	37,92/m^2	20.856
5.4	Moirão de madeira da cerca de retenção	PJ 15.05.0125 *	83,44/un	15.297
5.5	Moirão em madeira do cercamento	PJ 15.05.0125 *	83,44/un	61.189
5.6	Arame galvanizado, três fiadas	SC 40.05.0050 *	3,47/m	11.451
M6	**Plantio de vegetação de restinga**			**1.607.960**
6.1	Espécies vegetais de restinga	PJ 05.05.0800 *	39,25/m^2	1.009.950
6.2	Plantio de cobertura vegetal	PJ 05.10.0065 *	18,50/m^2	476.027

[101] *APS realiza serviço programado para manutenção da profundidade do Porto de Santos*. Autoridade Portuária de Santos (APS). 17 dez. 2025. Disponível em link.

6.3	Espécies arbustivas de restinga	PJ 10.30.0100 *	29,00/un	74.620
6.4	Plantio de arbusto	PJ 10.05.0100 *	2,11/un	5.429
6.5	Irrigação de implantação	EQ 05.05.0600 *	195,95/h	41.933
M7	**Monitoramento e tratos culturais no primeiro ano** **			**36.019**
7.1	Monitoramento biólogo	AD 40.05.0094 *	44,42/h	14.214
7.2	Monitoramento técnico	AD 40.05.0086 *	31,44/h	10.061
7.3	Monitoramento auxiliar	AD 40.05.0092 *	36,70/h	11.744
M3b	**Serviços preliminares (desmobilização, sinalização etc.)**			**827.222**
3.1b	Serviços preliminares	Est. caso RJ ***	0,0368	307.182
3.2b	Administração local	Est. caso RJ ***	0,0623	520.039
-	**Subtotal sem BDI**			**9.174.563**
-	BDI (20%)			1.834.913
-	**CAPEX TOTAL A PREÇOS DE MERCADO**			**11.009.475**

* Sistema de preços SCO-Rio. ** As campanhas de monitoramento e tratos culturais desta tabela estão restritas ao primeiro ano por comporem o Capex; o Opex considera a continuidade dessas ações. *** Razão adimensional derivada do orçamento de referência de dimensionamento para a infraestrutura cinza do estudo do caso de Copacabana, item 5.2.

O Capex de implantação dos módulos 4 a 7 (além do M3b) da alternativa de renaturalização da Ponta da Praia totaliza R$ 11,01 milhões a preços de mercado, equivalentes a R$ 20,02 mil por metro linear de orla ou ainda R$ 427,86 por m^2 de superfície vegetada. A reconstituição geomorfológica, ao mobilizar 124,98 mil m^3 de sedimento, domina a estrutura de custos, respondendo por 70,6% do subtotal, seguido pelo plantio de vegetação nativa de restinga, com 17,5%.

Custos de operação (Opex)

Para a estimativa dos custos de operação e manutenção da alternativa de SBN, aplicou-se a mesma fração de 12,71% desvendada no orçamento da solução natural do trecho sul da Praia de Copacabana (item 5.2.3). Retoma-se que essa fração cobre tanto a reposição de mudas mortas ou subtraídas, como a manutenção e substituição de moirões e arame do cercamento, a remoção de espécies invasoras, a irrigação e o monitoramento fitossanitário nos primeiros anos, assim como o monitoramento do perfil do cordão arenoso vegetado e a comunicação com os usuários da praia e da cidade. Uma vez que a recomposição sedimentar da cota não compõe a base de cálculo, a subtração do item 4.1 do custeio retorna um Opex anual de R$ 1,08 milhão. A aplicação do critério por unidade de superfície vegetada, adotado em Copacabana, é testada no item 6.4.3.

Adicionalmente, e como abordado anteriormente, a manutenção do balanço sedimentar é o elemento de maior incerteza do presente caso. Dadas as experiências das cidades de Natal e Paulista (estudos de caso do Eixo 1) quanto à perda de volume mobilizado, é também considerado um Opex referente a reengorda. Para fins deste dimensionamento, considerou-se o valor do item 4.2 do orçamento (reposição de cordão arenoso vegetado), adicionado de serviços preliminares, administração local e BDI, o que totaliza R$ 5,22 milhões. Caso a reposição sedimentar seja de 40% a cada 10 anos, tem-se

um valor respectivo, anualizado, de R$ 208,62 mil. O Opex anual total, a preços de mercado e valores de 2025, portanto, monta em R$ 1,29 milhão.

6.3.3. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa

A estimativa para os próximos 30 anos do investimento de capital (Capex) e do custeio de manutenção da alternativa de SBN deste estudo de caso soma os módulos referentes à retração urbana (R$ 11,29 milhões) e implantação do cordão vegetado (R$ 11,01 milhões) ao Opex anual de R$ 1,29 milhão. Estes preços refletem valores de mercado, e devem ser primeiramente corrigidos pelas distorções decorrentes da incidência de tributos indiretos, de subsídios e das imperfeições dos mercados de fatores. Para os módulos afetos à remoção da infraestrutura pública existente (demolição, remoção, terraplenagem; carga, transporte e destinação de resíduos em local licenciado; e serviços preliminares), adotou-se o fator de conversão setorial de obras de infraestrutura, de 0,947 (conforme Catálogo de Parâmetros). Com isso, o orçamento da demolição e terraplenagem passa a ser de R$ 10,69 milhões a preços sociais.

Já para o Capex da implantação do cordão litorâneo vegetado, utilizou-se da mesma abertura de rubricas que para a SBN do caso de Copacabana, como se retoma na tabela abaixo. Com isso, o Capex passa a ser de R$ 10,35 milhões a preços sociais.

Tabela 43 - Conversão a preços sociais da alternativa de SBN na Ponta da Praia

Grupo de insumo	Preço de mercado (R$)	Fator de Conversão	Referência do FC (Catálogo de Parâmetros)	Preço social (R$)
Insumos vegetais	1.084.570	0,9660	FCS produtos da exploração florestal e da silvicultura	1.047.695
Insumos de madeira	76.487	0,9350	FCS produtos de madeira, exclusive móveis	71.515
Serviços técnicos e administração	827.222	0,9840	FCS serviços de arquitetura e engenharia	813.986
Plantio e manutenção	559.409	0,7380	FCMO ponderado (10/90) para Região Sudeste	412.829
Reposição sedimentar e demais itens	6.626.875	0,9470	FCS obras de infraestrutura	6.275.651
BDI	1.834.913	0,9397	Fator de conversão ponderado dos demais itens	1.724.335
TOTAL	**11.009.475**	**0,9397**	**Fator ponderado resultante**	**10.346.011**

Quanto ao Opex, utilizou-se do mesmo fator de conversão ponderado para o Capex de implantação do cordão, ou seja, 0,9397. Com isso, a expressão dos gastos anualizados em preços sociais passa a ser de R$ 1,21 milhão. A Tabela 44 sintetiza os valores apresentados, listados por seu valor presente do fluxo de 30 anos descontado pela TSD de 8,5%. Nota-se que, em termos de alocação temporal, as obras de retração urbana foram alocadas no ano 1, seguidas das obras de implementação da SBN propriamente dita no ano 2. O Opex, assim, passa a incidir anualmente a partir do ano 3, assim permanecendo até o 30º.

Tabela 44 - Custo socioeconômico total da alternativa de SBN na Ponta da Praia

Componente de custo	Valor presente (R$)	R$ por metro linear	Participação (%)
Capex (retração urbana, ano 1)	9.854.162	17.917	33,4%
Capex (implantação SBN, ano 2)	8.788.474	15.979	29,8%
Opex (com reengorda, anos 3 a 30)	10.852.924	19.733	36,8%
Custo socioeconômico total	**29.495.559**	**53.628**	**100%**

O custo socioeconômico total associado ao cenário alternativo (implantação de SBN com retração urbana), expresso em valor presente, monta em R$ 29,50 milhões, ou ainda R$ 53,63 mil por metro linear de orla, considerando a extensão de 550 metros de intervenção. Esse custo representa a ruptura da estratégia atualmente em curso, almejando renaturalizar a Ponta da Praia de forma a conceder espaço suficiente para que reduza a vulnerabilidade frente à recorrência de ressacas e avanço do mar. Em valor presente, observa-se que tanto a retração urbana quanto o cordão vegetado constituem cerca de uma terça-parte dos dispêndios totais. Os custos de manutenção, que incluem a perspectiva de reengorda com 40% dos sedimentos a cada dez anos, acabam sendo a rubrica mais elevada no ciclo total de 30 anos.

6.4. Análise comparativa

6.4.1. Comparação dos custos de intervenção

O processo erosivo e o galgamento recorrente no trecho da Ponta da Praia entre o Canal 6 e a altura da Rua Carlos de Campos precisam ser endereçados, e para tal foram avaliadas duas trajetórias de adaptação. A primeira é a continuidade da estratégia atualmente em curso, na qual a proteção da retaguarda urbana permanece assegurada pela mureta de contenção e pelo enrocamento existentes, mantidos e reforçados na medida imposta pela recorrência dos eventos (cenário base). A segunda é a retração planejada dessa infraestrutura, seguida da recriação de praia vegetada com cordão arenoso vegetado de grande porte (alternativa SBN). Dessa forma, a comparação se dá entre um cenário sem investimento de capital e custo operacional crescente e um cenário com investimento de capital concentrado nos dois primeiros anos e custo operacional estável.

Ambas as alternativas atendem ao mesmo trecho de 550 metros de orla, sob as mesmas convenções de horizonte temporal de trinta anos, taxa social de desconto de 8,5% ao ano, BDI de 20%, coeficientes de serviços preliminares e de administração local e data-base de 2025, de modo que os resultados são diretamente comparáveis. A Tabela 45 apresenta a comparação dos custos socioeconômicos das alternativas de intervenção na Ponta da Praia de Santos, no litoral paulista. Consolida, assim, os parâmetros de custo apurados nos itens anteriores, a valor presente, e permite identificar que a alternativa de SBN é a opção de menor custo socioeconômico, representando 58,6% do custo do cenário base em valor presente. Nota-se a diferença na configuração dos cenários, pois no caso base, não há dispêndios de capital, mas há contabilização da externalidade negativa. No caso do cenário com SBN, tem-se situação oposta.

Tabela 45 - Comparação dos custos socioeconômicos das alternativas de intervenção na Ponta da Praia

Parâmetro	Cenário base (infra cinza existente)	Cenário alternativo (SBN)	SBN / Cinza
Capex a preços sociais (R$, VP)	-	18.642.636	-
Opex a preços sociais (R$, VP)	28.316.284	10.852.924	38,3%
Externalidade negativa (R$, VP)	21.976.873	-	-
Valor social presente total, 30 anos (R$)	**50.293.157**	**29.495.559**	**58,6%**
Valor presente por metro linear (R$/m)	91.442	53.628	58,6%
Participação do Capex no valor presente	0,0%	63,2%	–

Executar a proteção da Ponta da Praia pela via da retração urbana e da recriação de praia vegetada custa R$ 20,80 milhões a menos, em valor social presente, do que pela continuidade da manutenção da infraestrutura rígida, o que representa economia de 41,4% do dispêndio socioeconômico. Tomados os custos evitados do cenário base como benefício da intervenção, o índice benefício-custo alcança 1,71, a taxa de retorno econômica atinge 15,2% ao ano, superando com folga a taxa social de desconto de 8,5%.

A alternativa de SBN exige investimento de capital que o cenário base não tem, de R$ 18,64 milhões a valor presente dos preços sociais, e recupera essa desvantagem pela via de um custo operacional 26% inferior (a preços de mercado) ao patamar inicial do cenário base e, principalmente, estável no tempo, contra um Opex que quadruplica em valor nominal ao longo das três décadas, representando a crescente vulnerabilidade aos eventos de ressaca. Torna-se evidente que a hierarquia entre as alternativas depende da externalidade negativa de risco, uma vez que há plena convergência na ordem de grandeza entre os custos econômicos diretos. Se a externalidade for desconsiderada, o cenário base custa R$ 28,32 milhões e a alternativa natural R$ 29,50 milhões, ou seja, a solução natural passa a ser 4,2% mais cara. É a incorporação do prejuízo privado associado à intensificação do risco de galgamento, de R$ 21,98 milhões em valor presente, que inverte o resultado e o converte em vantagem de larga margem.

Essa constatação define, ademais, a principal fragilidade analítica do caso, uma vez que a premissa de neutralização integral daquele desconto pela alternativa natural não decorre de modelagem hidrodinâmica. Quando testada por exclusão (desconsiderando-se a externalidade do cômputo do cenário base), ela reduz a decisão a uma equivalência econômica entre alternativas, na qual a escolha passaria a se orientar pelos cobenefícios não monetizados, discutidos no item seguinte. Essa e as demais premissas determinantes do resultado são objeto de testes de sensibilidade específicos (item 6.4.3).

6.4.2. Externalidades e cobenefícios

A comparação de custos apresentada acima incorpora uma única externalidade, de sinal negativo e imputada ao cenário base, correspondente ao prejuízo privado capitalizado no valor do estoque imobiliário exposto. Todas as demais dimensões de valor foram mantidas fora da contabilidade. No plano dos ganhos não computados com a alternativa de SBN, a recriação da praia vegetada restitui atributos que a orla perdeu ao

longo do processo de urbanização. A ampliação da faixa de areia utilizável recompõe valor recreacional em uma praia que hoje registra episódios de desaparecimento completo da faixa durante ressacas. O cordão vegetado agrega informação estética e inspiração cultural, provisão de materiais, recursos genéticos e suporte a fases do ciclo de vida de espécies migratórias.

Em compensação, no plano das perdas não computadas, a alternativa natural suprime uma relevante feição da cidade, que além de deter função de circulação urbana (via de tráfego de automóveis), inclui amplos passeios, ciclovia, equipamentos de lazer e praças. A remoção dessa estrutura implica em mudança significativa na acessibilidade e no lazer para os usuários, pois mesmo que a praia reconstruída também ofereça essa opção (lazer), não o faz por meio dos mesmos equipamentos (ciclovia e calçadão, por exemplo). Adicionalmente, a retração exige redistribuição de fluxos para o sistema viário da retaguarda. A não monetização dessa perda de amenidade se apoia em três argumentos, quais sejam:

- O primeiro é a compensação parcial pelo novo habitat, dado que a praia recriada preserva cerca de 22,7 metros de faixa seca utilizável e acrescenta atributos estéticos e ecológicos que o calçadão não oferece, ainda que por meio de equipamentos distintos.
- O segundo é que a amenidade do calçadão no cenário base já está comprometida pelo risco crescente de galgamento. Em termos econômicos, o custo de oportunidade da remoção é o valor esperado dos serviços que a infraestrutura prestaria ao longo do tempo, e não seu valor nominal em condições ideais. Esse fluxo, conforme exposto no item 6.1, já tem se mostrado intermitente (destruição por ressacas, inundações e vias interditadas). e tende a se deteriorar sob *coastal squeeze*.
- O terceiro é que a amenidade do cenário base só existe porque é sustentada pelos dispêndios de manutenção e reparo projetados, que quadruplicam em valor nominal ao longo do horizonte. Ou seja, parte de seu valor está representado pelo próprio Opex do cenário base.

A perda líquida de amenidade tende a ser, portanto, inferior à que resultaria da comparação com uma orla intacta e sem riscos crescentes. Ainda assim, a redistribuição de fluxos viários para a retaguarda constitui custo real não monetizado, cuja estimação requer levantamentos específicos de mobilidade que não foram aqui realizados. Reforça-se que o estudo é prospectivo e, na prática, levantamentos pormenorizados acerca do balanço entre os ganhos e perdas de amenidades na área de intervenção se fazem necessários.

Vale também observar que a pegada espacial das duas alternativas é bastante distinta, dado que no cenário base a infraestrutura rígida permanece confinando a praia entre o mar e a cidade, e a tendência erosiva projetada implica estreitamento progressivo da faixa remanescente. Na alternativa natural, o cordão vegetado ocupa 45,3 metros da faixa de 68,0 metros, preservando cerca de 22,7 metros de praia seca utilizável e, sobretudo, devolvendo espaço de acomodação para que o perfil migre em resposta à elevação do nível médio do mar. É a reversão local do fenômeno de *coastal squeeze* descrito na contextualização, e seu valor de opção não foi monetizado.

Finalmente, dadas as incertezas oriundas da complexidade local, o conjunto de convenções adotadas neste estudo de caso opera predominantemente contra a alternativa natural, destacando-se que: o parâmetro unitário de reposição sedimentar foi derivado de planilha de referência de órgão licitante, cujo preço efetivamente contratado foi cerca de 17,5% inferior; a profundidade de terraplenagem é tomada como limite superior; a distância média de transporte de 50 quilômetros e caminhão basculante de menor capacidade são onerosos; as três rubricas arbitradas de R$ 200 mil para redes e mobiliário são incorporadas integralmente; o custeio do cordão vegetado incide sobre um Capex dominado pela reposição sedimentar; o ciclo de reengorda de 40% do volume do cordão a cada dez anos; e nenhuma valoração de cobenefícios socioambientais. Em sentido oposto, a premissa que favorece a alternativa natural é a neutralização integral da vulnerabilidade climática associada aos episódios de ressaca, que condiciona a valoração do desconto pelo risco imobiliário crescente.

6.4.3. Sensibilidade dos resultados

A comparação entre as alternativas para a Ponta da Praia combina dispêndios públicos efetivamente registrados, reconstruções paramétricas a partir de quantitativos noticiados, orçamentos elaborados com sistemas referenciais de custos e parâmetros transferidos da literatura hedônica internacional, cada qual sujeito a premissas próprias. Para avaliar a robustez dos resultados, foram realizados testes univariados, nos quais cada premissa é alterada isoladamente, mantendo-se as demais constantes; testes combinados, que reúnem premissas simultaneamente favoráveis e desfavoráveis à alternativa de SBN; e o cálculo de valores de reversão, que indicam o patamar que determinado parâmetro precisaria atingir para igualar as alternativas. Todos os resultados estão expressos em valor presente, a preços sociais de 2025, descontados à TSD de 8,5% a.a. ao longo de 30 anos, e são apresentados na Tabela 46.

A premissa de maior influência é a própria externalidade associada ao risco de galgamento. Se desconsiderada, o cenário base custa R$ 28,32 milhões e a alternativa natural R$ 29,50 milhões, ou seja, a solução natural passa a ser 4,2% mais cara, com índice benefício-custo de 0,96 e taxa de retorno econômica de 8,0% ao ano, abaixo da TSD. Caso a alternativa de SBN neutralize apenas 10% do incremento de vulnerabilidade do qual decorre o prejuízo privado, o cenário base passa a R$ 30,51 milhões e a vantagem da SBN se reduz a R$ 1,02 milhão (3,3%). Em termos de reversão, basta que a alternativa natural neutralize 5,4% do incremento de vulnerabilidade para que as alternativas se igualem.

Quanto à magnitude da externalidade, os demais cenários e percentis de elevação do nível médio do mar reportados na Tabela 36 fazem-na variar entre R$ 18,47 milhões (SSP2-4.5, percentil 17) e R$ 30,44 milhões (SSP5-8.5, percentil 83), com índices benefício-custo de 1,59 a 1,99. Conforme exposto no item 6.2.4, o desconto acumulado a partir de 2050, de 23,28%, supera os descontos observados na literatura revista; limitado ao patamar de 6,6%, limite superior do intervalo de Bernstein et al. (2019) para o risco projetado sem dano pretérito, a externalidade cai para R$ 14,27 milhões e o índice benefício-custo para 1,44. A adoção do limite inferior da faixa de preços da Ponta da Praia, de R$ 6.340/m^2 em lugar da média municipal, reduz a externalidade a R$ 18,18 milhões. Já

uma variação ad hoc do redutor de área útil, de 50% para 25% ou 75%, faz a externalidade oscilar entre R$ 10,99 milhões e R$ 32,97 milhões.

No cenário base, a projeção dos dispêndios de manutenção e reparação é sensível tanto à reconstrução do histórico quanto à trajetória futura. Aplicando-se a reconstrução paramétrica apenas aos exercícios sem contrato identificado, o patamar médio dos últimos dez anos passa a R$ 1,33 milhão e o salto de patamar a 1,91, de modo que o Opex do cenário base cai para R$ 20,23 milhões. A exclusão do projeto-piloto de geotubos produz efeito semelhante, com Opex de R$ 19,16 milhões. Quanto à trajetória, manter o Opex constante no patamar atual, sem qualquer intensificação, reduz o custo do cenário base a R$ 17,03 milhões; uma única mudança de patamar, a R$ 23,97 milhões; e o adiamento dos saltos para os anos 16 e 26, a R$ 22,82 milhões. Em todos esses casos, preservada a externalidade, a alternativa de SBN mantém índice benefício-custo igual ou superior a 1,32.

Na alternativa de SBN, a profundidade de terraplenagem determina simultaneamente o volume de solo a exportar e o de areia a repor. Com 1,00 m, o custo da alternativa cai para R$ 27,23 milhões e, mesmo desconsiderando a externalidade, a SBN passa a apresentar vantagem de R$ 1,08 milhão frente aos R$ 28,32 milhões do cenário base; com 2,00 m, sobe para R$ 33,69 milhões, R$ 5,38 milhões acima do cenário base sem externalidade. A profundidade de equilíbrio, desconsiderada a externalidade, é de 1,17 m. O parâmetro unitário da areia, de R$ 51,85/m^3, pressupõe draga já mobilizada para a manutenção do canal do Porto de Santos: adotando-se o preço efetivamente contratado em Matinhos, cerca de 17,5% inferior ao de referência, o custo da SBN cai para R$ 26,83 milhões; incluindo-se a mobilização da draga, como no caso de Florianópolis (R$ 54,58/m^3), sobe para R$ 30,30 milhões. Sem a externalidade, o preço de equilíbrio da areia é de R$ 47,83/m^3.

Uma variação ad hoc de ±25% no Capex da SBN faz seu custo oscilar entre R$ 24,83 milhões e R$ 34,16 milhões. No custeio, a aplicação do critério por unidade de superfície vegetada adotado em Copacabana (R$ 18,67/m^2 ao ano), em vez da fração de 12,71% sobre um Capex dominado pela reposição sedimentar, reduz o Opex anual do cordão de R$ 1,08 milhão para R$ 480 mil a preços de mercado, e o custo total da SBN para R$ 24,45 milhões. Por fim, a supressão dos ciclos de reengorda reduz esse custo para R$ 27,74 milhões, enquanto sua duplicação, para 80% do volume a cada dez anos, o eleva para R$ 31,26 milhões.

Tabela 46 - Testes de sensibilidade dos custos socioeconômicos na Ponta da Praia (R$ milhões, VP)

Teste	Opex do cenário base	Externalidade	Cenário base (total)	Alternativa SBN	Vantagem da SBN	Índice B/C	TRE
Cenário central	**28,32**	**21,98**	**50,29**	**29,50**	**20,80**	**1,71**	**15,2%**
Externalidade excluída	28,32	0,00	28,32	29,50	-1,18	0,96	8,0%
Neutralização de apenas 10% do incremento de vulnerabilidade	28,32	2,20	30,51	29,50	1,02	1,03	8,9%
Nível do mar: SSP1-2.6, mediana	28,32	20,97	49,29	29,50	19,79	1,67	14,9%

Nível do mar: SSP5-8.5, mediana	28,32	24,49	52,81	29,50	23,31	1,79	15,7%
Nível do mar: SSP2-4.5, perc'til 17	28,32	18,47	46,79	29,50	17,29	1,59	14,2%
Nível do mar: SSP2-4.5, perc'til 83	28,32	27,50	55,82	29,50	26,33	1,89	16,6%
Nível do mar: SSP5-8.5, perc'til 83	28,32	30,44	58,76	29,50	29,26	1,99	17,2%
Desconto imob. limitado a 6,6%	28,32	14,27	42,59	29,50	13,09	1,44	13,6%
Valor do m² de R$ 6.340	28,32	18,18	46,50	29,50	17,01	1,58	14,1%
Redutor de área útil de 25%	28,32	32,97	61,28	29,50	31,79	2,08	17,9%
Redutor de área útil de 75%	28,32	10,99	39,30	29,50	9,81	1,33	12,0%
Apenas anos sem contrato	20,23	21,98	42,21	29,50	12,71	1,43	12,8%
Exclusão do projeto de geotubos	19,16	21,98	41,14	29,50	11,64	1,39	12,4%
Sem mudança de patamar Opex	17,03	21,98	39,01	29,50	9,51	1,32	12,4%
Única mudança de patamar (a. 11)	23,97	21,98	45,94	29,50	16,45	1,56	14,5%
Mudanças de pat. anos 16 e 26	22,82	21,98	44,79	29,50	15,30	1,52	13,8%
Terraplenagem de 1,00 m	28,32	21,98	50,29	27,23	23,06	1,85	16,6%
Terraplenagem de 2,00 m	28,32	21,98	50,29	33,69	16,60	1,49	13,1%
Areia a R$ 42,78/m³	28,32	21,98	50,29	26,83	23,46	1,87	16,4%
Areia a R$ 54,58/m³	28,32	21,98	50,29	30,30	20,00	1,66	14,8%
Capex da SBN −25%	28,32	21,98	50,29	24,83	25,46	2,03	18,6%
Capex da SBN +25%	28,32	21,98	50,29	34,16	16,14	1,47	12,9%
Opex da SBN pelo critério por m²	28,32	21,98	50,29	24,45	25,84	2,06	16,9%
Sem ciclos de reengorda	28,32	21,98	50,29	27,74	22,56	1,81	15,8%
Reengorda de 80% a cada 10 anos	28,32	21,98	50,29	31,26	19,04	1,61	14,6%
Combinado inferior	12,45	11,81	24,26	32,15	-7,89	0,75	3,5%
Combinado superior	28,32	30,44	58,76	22,93	35,83	2,56	19,9%

No cenário combinado inferior, que reúne as premissas mais desfavoráveis à alternativa natural (exclusão do projeto-piloto de geotubos, ausência de mudança de patamar no Opex do cenário base, desconto imobiliário limitado a 6,6%, valor de R$ 6.340/m², areia com mobilização de draga e reengorda de 80% a cada dez anos), o cenário base passa a custar R$ 24,26 milhões, dos quais R$ 12,45 milhões em manutenção e R$ 11,81 milhões em externalidade, contra R$ 32,15 milhões da SBN, invertendo-se a hierarquia (índice benefício-custo de 0,75). No cenário combinado superior, com elevação do nível do mar no percentil 83 do SSP5-8.5, Opex do cordão pelo critério por m² e preço contratado da areia, o cenário base alcança R$ 58,76 milhões, contra R$ 22,93 milhões da alternativa natural, com índice benefício-custo de 2,56.

Os valores de reversão reforçam essa leitura, pois mantida a externalidade central, as alternativas somente se igualariam caso o Opex do cenário base fosse reduzido a 26,6%

do valor projetado (R$ 7,52 milhões em valor presente), caso o Capex da SBN fosse 2,12 vezes o orçado, caso o custeio do cordão fosse 3,29 vezes o estimado, ou caso o preço da areia alcançasse R$ 122,77/m^3, cerca de 2,4 vezes o parâmetro adotado.

Os testes indicam que a vantagem da alternativa de SBN é robusta a todas as premissas testadas isoladamente, desde que preservada a externalidade, com índices benefício-custo entre 1,32 e 2,08. A principal incerteza reside na neutralização do incremento de vulnerabilidade pela alternativa natural e na trajetória dos dispêndios do cenário base, e a hierarquia somente é revertida pela combinação simultânea de premissas desfavoráveis à SBN, o que reforça a recomendação de que a decisão seja precedida de modelagem hidrodinâmica específica e de levantamento sistemático dos dispêndios municipais na orla.

6.5. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência

Sob o referencial do Triplo Dividendo da Resiliência (Heubaum et al., 2022; Brandon et al., 2025), o caso da Ponta da Praia se organiza na comparação entre a permanência de uma infraestrutura rígida já instalada e sua substituição por infraestrutura natural. Os dividendos, em consequência, manifestam-se pelo avesso: não como benefícios que a intervenção gera, mas como perdas que a inação perpetua.

O primeiro dividendo, correspondente às perdas evitadas, materializa-se no dispêndio público de manutenção e reparação que a alternativa natural torna desnecessário. O histórico reconstruído demonstra que foram mobilizados R$ 23,14 milhões entre 1999 e 2025 em ações na Ponta da Praia, com média anual de R$ 857 mil e concentração de 76% dos valores na última década. Projetado para trinta anos com dois saltos de patamar coerentes com a intensificação observada, esse fluxo alcança R$ 28,32 milhões em valor social presente, equivalentes a R$ 51,48 mil por metro linear de orla. Trata-se do núcleo usual das análises de custo-benefício de redução de risco, e aqui ele tem a particularidade de recair predominantemente sobre o município, uma vez que não foram localizados instrumentos federais de transferência associados à erosão costeira do trecho, sendo a principal exceção o projeto-piloto de geotubos, custeado por recursos de multa ambiental decorrente de acidente portuário (Quadro 1). O benefício, portanto, materializa-se majoritariamente no alívio fiscal ao próprio município de Santos.

O segundo dividendo, que trata dos benefícios econômicos induzidos, é a camada de maior magnitude relativa neste caso, e também se manifesta pela sua ausência. O desconto que o mercado imobiliário aplica a imóveis expostos à intensificação do risco de galgamento, estimado em R$ 21,98 milhões em valor presente sobre um estoque exposto de R$ 390,68 milhões, expressa exatamente o que o referencial do WRI descreve como perda de previsibilidade, de segurança para investimentos e de sustentação de valor patrimonial em uma orla disfuncional. Ele responde por 43,7% do custo socioeconômico do cenário base e é o componente que determina a hierarquia entre as alternativas. Trata-se de estimativa prudente em sua base de cálculo, pois foi aplicada ao valor médio municipal do metro quadrado, e não ao patamar mais elevado do bairro, e convertida em fluxo pela rentabilidade de aluguel, inferior à própria taxa social de desconto. Em contrapartida, o desconto acumulado ao final do horizonte supera os observados na literatura revista; sua limitação a 6,6% (Bernstein et al., 2019) reduz a

externalidade a R$ 14,27 milhões em valor presente, e ainda assim a alternativa de SBN mantém índice benefício-custo de 1,44.

Já o terceiro dividendo, que reúne os cobenefícios socioambientais, permanece integralmente não monetizado. As dimensões de valor recreacional, estético e cultural da praia recriada, de habitat e conectividade ecológica, de sequestro de carbono pela vegetação de restinga e de qualidade ambiental da interface urbano-costeira foram reconhecidas qualitativamente e compensadas contra a perda de conectividade viária e de lazer decorrente da remoção do trecho intervencionado na via costeira santista.

Conclusões

O caso da Ponta da Praia demonstra que a decisão entre manter a estrutura urbana pública e devolver espaço é mais uma escolha de trajetórias do que de valores econômicos. A manutenção da estratégia atualmente em curso não exige investimento de capital, e é precisamente essa aparência de gratuidade que a torna atraente para o decisor público; todavia, a inação cobra R$ 50,29 milhões em valor social presente ao longo de trinta anos, ou R$ 91,44 mil por metro linear de orla, dos quais mais da metade recai sobre o orçamento municipal na forma de custeio crescente e o restante sobre o patrimônio das famílias que residem defronte ao trecho. A alternativa de retração da infraestrutura pública e recriação da praia vegetada exige investimento concentrado nos dois primeiros anos, mas custa R$ 29,50 milhões, ou 58,6% do cenário base, com índice benefício-custo de 1,71.

O resultado, contudo, deve ser lido com a ressalva de que a hierarquia entre as alternativas depende exclusivamente da externalidade negativa de risco. Confrontados apenas os dispêndios diretos, as duas trajetórias praticamente se igualam, e é a incorporação do prejuízo privado capitalizado no valor dos imóveis expostos que converte a vantagem para a SBN. Essa dependência delimita o alcance da conclusão, pois demonstra que a remoção da infraestrutura se torna econômica quando o custo suportado pelo patrimônio privado deixa de ser invisível. Em sentido oposto, todas as demais convenções operam contra a alternativa natural, da profundidade de terraplenagem ao parâmetro unitário da areia, da distância de transporte à não valoração dos cobenefícios do habitat recriado, compensados contra a perda de amenidades do trecho removido e da conectividade viária. Os testes de sensibilidade confirmam essa leitura: a vantagem da alternativa natural se mantém em todos os testes univariados que preservam a externalidade, com índice benefício-custo entre 1,32 e 2,08, mas pode ser revertida quando premissas desfavoráveis à SBN são combinadas simultaneamente, notadamente as que reduzem a trajetória de dispêndios do cenário base e o desconto imobiliário.

7. Retração urbana planejada e restauração ecológica em Florianópolis (SC)

Ficha-resumo

Intervenção necessária: Retração urbana planejada da primeira linha de ocupação e restauração do sistema praial, comparada a intervenção de engenharia costeira cinza:

- SBN: desmobilização e demolição da primeira linha de edificações privadas, remoção do enrocamento, das calçadas e dos acessos, recomposição de cota, construção de cordão arenoso vegetado com plantio de espécies nativas de restinga e obras complementares de drenagem e urbanização.
- Infraestrutura predominantemente cinza: recuperação artificial da faixa de areia por dragagem e aterro hidráulico, associada a linha submersa de geotubos, molhe, enrocamento de proteção, passarelas e obras de drenagem e urbanização, conforme projeto básico da Prefeitura Municipal de Florianópolis (2011).

Município: Florianópolis, SC

Local: Praia da Armação do Pântano do Sul, trecho sul

Área de análise: 45.116 m^2, correspondentes a 830 m de linha de costa e a uma faixa de 54,36 m de largura média, medida perpendicularmente à linha de costa desde a berma até o limite posterior da primeira linha de ocupação, na qual se identificaram 111 edificações residenciais e 12.228 m^2 de área construída



Figura 12 - Área do estudo de caso na cidade de Florianópolis (SC), destacando a região da Praia da Armação do Pântano do Sul, trecho que vem sofrendo intensificação dos processos de erosão costeira (em amarelo)

Característica: Praia oceânica de enseada, com uso balneário intenso e concentrado na temporada de verão, cuja faixa seca foi suprimida por processo erosivo crônico e posteriormente ocupada por enrocamento (implantado em 2010), estrutura que não conteve a erosão e restringiu o uso público do trecho.

Contextualização: Florianópolis apresenta elevada diversidade de paisagens costeiras naturais, incluindo praias, dunas e extensos remanescentes de vegetação de restinga. Apesar da presença de áreas relativamente conservadas, a expansão urbana levou à ocupação de setores costeiros naturalmente dinâmicos e vulneráveis à erosão. Na Praia da Armação do Pântano do Sul, localizada no sul da ilha de Santa Catarina, o processo erosivo vem sendo registrado desde a década de 1990, com redução de aproximadamente 50% da largura da faixa de areia em alguns trechos entre 2002 e 2009 e danos recorrentes à infraestrutura e a imóveis localizados na linha de costa. Em maio de 2010, a sucessão de ciclones extratropicais suprimiu a faixa seca, danificou 74 residências, destruiu cerca de 30 delas e motivou a implantação emergencial de enrocamento. A estrutura permanece no local, associada na literatura à intensificação da erosão e à restrição do acesso público.

O local constitui um estudo de caso representativo para comparar cenários de adaptação baseados na retração urbana planejada, envolvendo remoção de imóveis privados, desapropriação de terrenos costeiros e reconstrução de faixa de praia com cordão arenoso vegetado, em relação à implantação de intervenção híbrida, predominantemente cinza, com engorda de praia. O caso confronta, portanto, duas trajetórias prospectivas de intervenção destinadas a enfrentar o mesmo processo erosivo, ambas com investimento de capital, manutenção e efeitos territoriais próprios, e ambas partindo da remoção ou absorção do enrocamento existente.

7.1. Histórico socioambiental

Florianópolis é a capital do estado de Santa Catarina e ocupa posição central no litoral sul-brasileiro, com território distribuído entre a Ilha de Santa Catarina e uma porção continental. A Ilha de Santa Catarina é marcada por elevada diversidade de paisagens costeiras naturais, incluindo praias, dunas e extensos remanescentes de vegetação de restinga. O município concentra atividade turística de elevada estacionalidade: a temporada de verão, delimitada pelo poder público municipal entre 15 de novembro e 15 de maio, recebeu cerca de três milhões de visitantes na temporada 2024/2025[102]. Apesar da presença de áreas relativamente conservadas, a expansão urbana levou à ocupação de setores costeiros naturalmente dinâmicos e sujeitos à erosão. Ao longo das últimas décadas, a ocupação da costa esteve associada à urbanização desordenada, ao uso turístico e à implantação de estruturas de proteção costeira, em um processo marcado por pressões antrópicas sobre ambientes costeiros.

A Praia da Armação do Pântano do Sul se localiza no sul da Ilha, a aproximadamente 22 quilômetros do centro da capital, e apresenta cerca de 3 quilômetros de extensão em

[102] *Com mais de 3 milhões de visitantes, Florianópolis vive verão histórico*. Florianópolis AGR. 30 abr. 2025. Disponível em link. *Florianópolis espera 3 milhões de turistas; verão terá Raça Negra no Réveillon*. G1 Santa Catarina. 15 out. 2025. Disponível em link.

configuração de enseada (Vanz e Rodrigues, 2012). O bairro combina núcleo de origem pesqueira, ocupação residencial permanente e forte presença de segunda residência e de locação por temporada, padrão que sujeita a orla à pressão de uso concentrada nos meses de verão. Nessa praia, a interação entre processos naturais e ocupação urbana é particularmente evidente, pois a comunidade local mantém uma relação histórica com a área costeira e seus recursos, enquanto o turismo e a ocupação urbana ampliam a pressão sobre a praia e seus ambientes associados (Chamas e Scheibe, 2009; Frohlich et al., 2021). Nesse contexto, a vulnerabilidade resulta não apenas da dinâmica geomorfológica natural, mas também da forma como a ocupação e as intervenções humanas condicionam a capacidade de adaptação do sistema costeiro.

O processo erosivo na Praia da Armação vem sendo registrado desde a década de 1990 e apresenta variações espaciais e temporais, com tendência predominante de recuo da linha de costa nas últimas décadas. Segundo Dalbosco et al. (2019), para o intervalo de 1977 a 2009, as taxas de variação da linha de costa foram de -0,72 m/ano no setor sul, -0,50 m/ano no setor central e +0,37 m/ano no setor norte, com média de -0,29 m/ano para o conjunto da praia. No subintervalo de 2002 a 2009, a taxa do setor sul se diferenciou das demais porções e registrou retração de 2,82 m/ano, com alguns trechos apresentando redução de aproximadamente 50% da largura da faixa de areia, comportamento que os autores associam à orientação da linha de costa e ao regime de ondas incidente.

Esse mecanismo foi corroborado por Leal et al. (2020) ao comparar a resposta da Praia da Armação do Pântano do Sul e da Praia de Canasvieiras a marés de tempestade. Frohlich et al. (2021) reforçam o aspecto geomorfológico, tratando a Armação como um dos pontos críticos de erosão costeira do município. Entre 2009 e 2018, o recuo da borda superior da praia chegou a aproximadamente 4 m/ano em determinados setores, com episódios de maior recuo associados à ocorrência de tempestades, e à exposição da praia às ondas provenientes de sudeste e aos ventos de sul (Leal et al., 2020).

Em maio de 2010, a ocorrência de seis ciclones extratropicais esteve associada à supressão integral da faixa de areia e ao atingimento das edificações da primeira linha de ocupação, com 74 residências danificadas, 21 pessoas desalojadas e 1.803 pessoas afetadas (Vanz e Rodrigues, 2012; Dalbosco et al., 2019). Em resposta, ainda em 2010, foi implantado um enrocamento emergencial para proteção contra a erosão, posteriormente reformado em 2013 (Dalbosco et al., 2019). A implantação de estruturas rígidas de proteção costeira não impediu a persistência do processo erosivo na região e, segundo estudos realizados na área, esteve associada à sua intensificação em determinados setores da praia. Ademais, o enrocamento restringiu o acesso público à praia em determinados trechos, acarretando perda de valor turístico e de recreação associado ao local (Frohlich et al., 2021). A presença do molhe ao longo da foz do Rio Sangradouro também aparece associada, em análises multitemporais, ao cenário de perda líquida de sedimentos e à persistência do processo erosivo (Dalbosco et al., 2019).

O histórico de dispêndios públicos associado ao trecho também pode ser, grosso modo, reconstruído. A obra emergencial de 2010 foi custeada por recursos federais e é reportada com valores nominais de R$ 10 milhões[103], cujo processo de intervenção também

[103] *A Lagoa pode virar mar?* FloripAmanhã. 28 mai. 2010. Disponível em link.

é registrado pela Superintendência do Patrimônio da União em Santa Catarina[104]. Registros orçamentários municipais de 2014 documentam a rubrica de continuação da revitalização da Praia da Armação no valor de R$ 1 milhão[105]. Em 2016, foram contratados estudos de impacto ambiental e projeto executivo relacionados ao projeto de requalificação da enseada e recuperação da faixa de areia, no valor nominal de R$ 2,63 milhões[106].

Esses registros, entretanto, não permitem reconstruir com precisão o custo de continuidade da situação atual, que, mesmo após o enrocamento, segue impondo danos materiais e prejuízos (públicos e privados). Embora existam evidências de reparos posteriores às ressacas e de mobilização pública para manutenção da orla[107], não foram localizadas séries contratuais suficientemente completas e desagregadas que permitam isolar os dispêndios relativos à Praia da Armação, mesmo buscando-se por palavras-chave no Portal de Transparência do Município[108]. Parte dos serviços pode ter sido executada por equipes próprias da Prefeitura ou por contratos de escopo mais amplo, sem individualização territorial ou funcional das despesas. Consequentemente, não é possível estimar de forma consistente a frequência, a magnitude e a trajetória futura dos gastos públicos com reparos recorrentes, reforços do enrocamento, limpeza, resposta emergencial e reconstrução pós-evento.

Limitação semelhante incide sobre os prejuízos privados. O evento de 2010 demonstra a materialidade do risco, mas há também evidências qualitativas de perdas para atividades dependentes da praia. Após a ressaca de 2019, por exemplo, representante comunitário declarou que a redução da faixa de areia comprometia os estabelecimentos vinculados ao turismo local (ND Mais, 2019[109]). Não foram identificados, contudo, levantamentos sistemáticos sobre custos de reconstrução das residências, conteúdo doméstico perdido, duração das interrupções, redução de faturamento, despesas emergenciais das famílias ou frequência anual de danos.

A insuficiência de dados impede estimar com rigor uma perda anual esperada para as edificações privadas, pois seriam necessárias, ao menos, curvas locais de frequência e intensidade das ressacas. Todavia, o histórico permite assumir, com segurança, que o cenário de manutenção da situação atual é socioeconomicamente inviável, e deve ser modificado a partir de intervenções adicionais para o controle do processo erosivo. O presente caso, assim, passa a seguir lógica comparativa semelhante à empregada no caso carioca da Praia de Copacabana, conformando-se duas trajetórias prospectivas de intervenção destinadas a enfrentar o mesmo processo erosivo:

[104] Portaria nº 13, de 4 de agosto de 2010, da Superintendência do Patrimônio da União em Santa Catarina, referida no Relatório de Gestão 2010 da SPU/SC. Disponível em link.
[105] Lei Orçamentária Anual 2014, Prefeitura Municipal de Florianópolis. 17 jan. 2014. Disponível em link.
[106] Elaboração de EIA/RIMA e projeto executivo relativos à erosão marinha e de recuperação da faixa de areia na praia da Armação do Pântano do Sul. MPB Engenharia e Pref. Mun. de Florianópolis. Disponível em link.
[107] *Ressaca do mar destrói calçadão na Praia da Armação em Florianópolis*. G1 SC. 22 mai. 2019. Disponível em link. *Ressaca causa estragos em calçadão na Praia da Armação, em Florianópolis*. FloripAmanhã. 21 mai. 2019. Disponível em link.
[108] Portal da Transparência da Prefeitura Municipal de Florianópolis. Disponível em link.
[109] *Após ressaca, prefeitura garante recuperação imediata da orla da Armação, em Florianópolis*. ND Mais. 22 mai. 2019. Disponível em link.

- Solução de engenharia costeira predominantemente cinza, embora tecnicamente híbrida por combinar alimentação artificial da praia com estruturas submersas e obras rígidas; e
- Solução baseada na Natureza, fundamentada na retração urbana planejada e na reconstrução do sistema praia-cordão arenoso vegetado.

Também como no caso anterior, o benefício de proteção não foi monetizado porque as duas alternativas foram convencionalmente tratadas como entregas equivalentes, de modo que a escolha econômica se concentrou nos custos e nas externalidades diferenciais. Aplica-se aqui o mesmo princípio, sem pressupor identidade hidrodinâmica entre as soluções.

Reforça-se que a comparação prospectiva não considera a manutenção do enrocamento existente como alternativa de investimento. A ausência de valoração do cenário base responde à ausência de base empírica suficiente para projetar seus custos recorrentes ou para estimar o risco residual correspondente. Essa escolha também evita assimetria analítica entre as soluções prospectivas, pois caso apenas a SBN incorporasse todos os custos de aquisição, demolição e reconstrução ambiental, enquanto a alternativa convencional fosse representada somente pela manutenção de um ativo já existente e sem série confiável de dispêndios, a comparação colocaria uma intervenção completa contra um cenário de custos parcialmente invisíveis. A escolha de comparar duas intervenções prospectivas, no entanto, equaliza a análise pois ambas passam a apresentar Capex, necessidades de manutenção e efeitos ambientais e territoriais próprios.

Nota-se que o enrocamento é tratado como condição preexistente que evidencia a insuficiência da resposta emergencial e que deverá ser removido ou absorvido pelo escopo da intervenção escolhida. A alternativa de engenharia é representada pela recuperação artificial da faixa de areia associada a estruturas de retenção e proteção; a alternativa de SBN compreende a desmobilização do estoque edificado privado (aquisição e demolição) na primeira linha de ocupação, a retirada do enrocamento e a reconstrução de uma praia com cordão arenoso vegetado e espaço para acomodação morfodinâmica. Algumas características da análise são colocadas a seguir:

- Dalbosco et al. (2019) recomendam expressamente avaliar a retirada do enrocamento existente.
- A estrutura rígida protege principalmente patrimônio privado localizado na primeira linha de ocupação; assim, a restituição do espaço de acomodação costeira exige a desmobilização desses imóveis, e não apenas retirada de infraestrutura pública.
- A recuperação da faixa de areia e do cordão vegetado tende a restituir funções recreacionais, paisagísticas e ecológicas comprometidas pela erosão e pelo enrocamento.

Com base em delimitação realizada em SIG, considera-se uma extensão de aproximadamente 830 metros para a área diretamente analisada. O molhe existente no setor sul da enseada não integra o escopo de remoção em nenhuma alternativa, embora haja evidências de sua contribuição, não quantificada, para alterações na dinâmica

sedimentar. A infraestrutura viária pública, presente na faixa de intervenção, é pequena e, com base na inspeção visual, foi desconsiderada. Essas exclusões incidem simetricamente sobre ambas as alternativas. Registra-se, ademais, que a intervenção predominantemente cinza de referência foi concebida para a enseada como sistema único, estendendo-se por 1.600 metros do setor centro-sul, com molhe no extremo sul, junto à Ilha das Campanhas, e linha contínua de geotubos ao longo de toda a faixa recuperada, de cuja continuidade depende a eficácia do conjunto. Não há versão parcial orçada ou dimensionada para o trecho sul. A proporcionalização desse custo à extensão analisada é testada como sensibilidade no item 7.4.3.

7.2. Intervenção com infraestrutura cinza

7.2.1. Concepção da intervenção

A alternativa convencional corresponde à implantação de uma intervenção de engenharia costeira destinada a recompor a faixa de areia e protegê-la contra novas perdas sedimentares. Trata-se de solução híbrida, mas predominantemente cinza, haja vista combinar alimentação artificial de praia (intervenção que recompõe um elemento natural do sistema costeiro) com dispositivos de contenção submersos (geobags) e estruturas rígidas de engenharia. Sua caracterização física toma como referência o Projeto Básico para a Recuperação da Praia da Armação do Pântano do Sul, elaborado pela Secretaria Municipal de Obras da Prefeitura de Florianópolis (PMF, 2011). O documento foi produzido após as ressacas de 2010 e concebeu a recuperação como segunda fase da resposta pública, posterior à implantação emergencial do enrocamento. A solução procurava estabilizar, ampliar e defender a linha de costa por meio da combinação de dragagem, aterro hidráulico, geotubos, molhe, enrocamentos e obras complementares.

O elemento principal do projeto consistia na reconstrução de uma faixa de praia com 50 metros de largura ao longo de 1.600 metros do setor centro-sul da Praia da Armação. O projeto calculou volume de aproximadamente 292,27 mil m^3 de aterro hidráulico, já considerada uma perda de material de 20%. O suprimento sedimentar seria realizado por duas fontes: cerca de 61,01 mil m^3 de areia fina dragada do Rio Quinca Antônio e 246,75 mil m^3 de areia média dragada de jazida marinha. O material seria lançado, espalhado e conformado mecanicamente para a formação do novo perfil praial.

Para reduzir a energia das ondas e reter o sedimento incorporado à praia, o projeto previu uma linha submersa de geotubos ao longo da extensão total de faixa recuperada. O sistema seria composto por 80 unidades de 20 metros de comprimento e 13,7 metros de circunferência, resultando, após o enchimento, em seção aproximadamente elíptica de 6 metros de largura e 2,5 metros de altura. Cada geotubo seria apoiado em tapete de ancoragem com 9 metros de largura, complementado por tubos menores nas extremidades. O enchimento das estruturas demandaria aproximadamente 17,6 mil m^3 de areia dragada.

No extremo sul, junto à Ilha das Campanhas e ao acesso ao Rio Quinca Antônio, a concepção incluiu um molhe de 150 metros, destinado a formar uma zona de sombra de ondas e melhorar as condições de acesso das embarcações de pesca. Previu também 90 metros de enrocamento de proteção, dragagem do canal e uma passarela de 78

metros entre a Praia da Armação e a Praia do Matadeiro. O molhe foi dimensionado com seção de aproximadamente 31,4 metros e volume de 17,6 mil m^3 de rocha, empregando pedras de 0,5 a 5 toneladas. Nota-se que a solução contemplava ainda urbanização, incluindo calçadas, pavimentação, arborização, iluminação, e drenagem, com canaletas e caixas coletoras. O cronograma físico-financeiro previa 18 meses, e traz preços de maio de 2011, com BDI de 27,84%.

A adoção desse projeto municipal como referência constitui o caminho lógico frente à existência de solução institucional previamente desenvolvida para o local, que mesmo datada de 2011, foi apoiada em levantamentos topográficos, batimétricos e geotécnicos e dimensionada especificamente em função da morfodinâmica e vulnerabilidade erosiva local. Optou-se, portanto, por preservar essa concepção em vez de formular uma intervenção hipotética desde o início, sem implicar validação independente de sua eficácia, suficiência ou adequação ambiental e sem afastar a necessidade de atualização dos estudos e projetos antes de eventual execução.

7.2.2. Custos de implantação (Capex)

O projeto da Prefeitura Municipal de Florianópolis, embora date de 2011, é adotado como referência ainda vigente para a presente análise, haja vista que no decorrer dos anos desde sua concepção, foram contratados estudos ambientais e executivos que deram origem ao orçamento atualizado (mas nunca executado) para o que seria a solução definitiva para o problema erosivo da Armação. Em 2019 foi veiculada estimativa de que seriam necessários aproximadamente R$ 80 milhões para essa solução, ante a cerca de R$ 12 milhões para a situação análoga na praia de Canasvieiras[110]. Embora não tenha sido localizado orçamento executivo institucional atualizado que detalhe esse montante, sua ordem de grandeza é corroborada por declaração posterior do então secretário municipal de Infraestrutura de que uma alimentação artificial na Armação, por sua exposição ao mar aberto, poderia custar cerca de dez vezes a intervenção de Canasvieiras (portanto, cerca de R$ 120 milhões)[111]. A atualização do valor de referência de 2019 (R$ 80 milhões) pela variação do INCC, conforme a rotina do item 1.4, resulta em R$ 121,19 milhões a preços de 2025, adotados como estimativa do Capex da alternativa híbrida, predominantemente cinza.

Ademais, na ausência de outra referência monetária contemporânea para a implantação completa, assim como de memória de cálculo, assume-se que a estimativa veiculada englobe o conjunto de componentes necessários à recuperação e proteção da praia, incluindo os projetos e estudos complementares, licenciamento, mobilização, dragagem, aquisição ou obtenção de sedimentos, lançamento e conformação do aterro hidráulico, estruturas submersas de retenção, obras rígidas complementares e contingências construtivas.

[110] *Após ressaca, prefeitura garante recuperação imediata da orla da Armação, em Florianópolis*. NDMais. 22 mai. 2019. Disponível em link.
[111] *Assim como Balneário Camboriú, veja outras praias que tiveram ou terão suas faixas de areia alargadas*. Zero Hora. 30 nov. 2021. Disponível em link.

7.2.3. Custos de operação e manutenção (Opex)

Na ausência de uma série histórica desagregada de despesas de manutenção ou de um plano operacional específico para a intervenção projetada, os custos anuais de operação e manutenção foram estimados parametricamente em 2% do Capex, seguindo a convenção adotada no estudo de caso de Paulista (item 4.2.2). O percentual procura representar, em média anual equivalente, as inspeções e o monitoramento da praia e das estruturas, os reparos nos geotubos e tapetes de ancoragem, a recomposição localizada de enrocamentos, a manutenção do molhe, das passarelas e da drenagem e as intervenções periódicas de maior porte necessárias à preservação do perfil praial. Em Paulista, o parâmetro foi fundamentado na evidência de ao menos duas manutenções de grande porte por década; na Armação, sua aplicação constitui aproximação diante da inexistência de um programa de manutenção orçado, devendo ser interpretada como provisão média de longo prazo.

Aplicado ao Capex de R$ 121,19 milhões, a preços de 2025, o percentual corresponde a um Opex médio de R$ 2,42 milhões por ano. O valor é expresso a preços constantes de 2025, sem prejuízo de que, na prática, os desembolsos se distribuam irregularmente, com gastos menores em anos de operação ordinária e reinvestimentos mais elevados após ressacas ou perda relevante de sedimentos. Tal como se salientou no caso de Paulista, a estimativa não inclui reconstrução integral decorrente de falha excepcional nem realimentações extraordinárias de grande escala.

Forçantes exógenas do processo erosivo na Praia da Armação

A projeção do custo de manutenção (Opex) não pode ser tomada como constante, porque a solicitação hidrodinâmica sobre a estrutura predominantemente cinza tende a crescer dado o conceito de Extreme Total Water Level (ETWL), resultante da combinação entre o nível médio relativo do mar, a condição da maré astronômica, a maré meteorológica e a sobre-elevação por ondas (IPCC, 2021). Conforme se observou para o caso de Santos (item 6.2.2), o ETWL é sensível ao nível médio do mar, e há projeções de elevação para a estação maregráfica de Imbituba, a mais próxima do trecho com projeção disponível na ferramenta de projeções de nível do mar da NASA, já referenciada no caso de Santos. Conforme se observa na tabela abaixo para o cenário SSP2-4.5, os valores medianos vão de 0,054 m de incremento em 2020, 0,100 m em 2030, 0,150 m em 2040 e 0,218 m em 2050, medidos em relação à linha de base (média entre 1995 e 2014).

Tabela 47 - Variação total projetada do nível do mar na estação maregráfica de Imbituba (SC)

Cenário de emissões de GEE	Percentil	Metros de elevação em relação à linha de base 1995-2014						
		2020	2030	2040	2050	2060	2080	2100
SSP1-2.6	17	0,036	0,067	0,102	0,148	0,180	0,257	0,308
	50	**0,054**	**0,098**	**0,144**	**0,200**	**0,244**	**0,355**	**0,451**
	83	0,074	0,135	0,194	0,266	0,331	0,490	0,640
SSP2-4.5	17	0,036	0,072	0,109	0,163	0,213	0,319	0,437
	50	**0,054**	**0,100**	**0,150**	**0,218**	**0,280**	**0,424**	**0,588**

	83	0,074	0,134	0,199	0,288	0,371	0,571	0,804
SSP3-7.0	17	0,039	0,075	0,119	0,181	0,241	0,387	0,563
	50	**0,056**	**0,102**	**0,158**	**0,234**	**0,307**	**0,492**	**0,726**
	83	0,075	0,137	0,209	0,302	0,399	0,640	0,953
SSP5-8.5	17	0,034	0,072	0,123	0,192	0,260	0,426	0,632
	50	**0,054**	**0,105**	**0,166**	**0,249**	**0,332**	**0,543**	**0,810**
	83	0,077	0,143	0,219	0,324	0,433	0,712	1,073

Fonte: adaptado de IPCC AR6 Sea Level Projection Tool (NASA, 2026).

Esses valores podem ser convertidos em um índice de intensificação do risco pela razão entre a elevação projetada e a sobre-elevação de referência de 0,50 metro, patamar que corresponde à ordem de grandeza da sobre-elevação meteorológica associada aos eventos de ressaca descritos para o trecho por Vanz e Rodrigues (2012) e Vianna et al. (2022). Tal como realizado para o caso de Santos, o índice resultante é de um acréscimo de risco da ordem de 10,8% em 2020, 20,0% em 2030, 30,0% em 2040 e 43,6% em 2050. A Tabela 48 apresenta os resultados obtidos, assim como os acréscimos em pontos percentuais no risco entre as décadas observadas.

Tabela 48 - Índice de intensificação do risco de galgamento em Florianópolis

Métrica	2020	2030	2040	2050
Mediana da projeção de elevação do nível médio do mar no cenário SSP2-4.5 (metros)	0,054	0,100	0,150	0,218
Índice de intensificação do risco, como fração do extremo histórico (0,50 metro)	10,80%	20,00%	30,00%	43,60%
Pontos percentuais de acréscimo no risco de uma década a outra	-	9,20	10,00	13,60

Fonte: elaboração própria a partir de NASA (2026), Vanz e Rodrigues (2012) e Vianna et al. (2022).

Para projetar os dispêndios de manutenção do cenário de intervenção com estruturas de engenharia cinza na Praia da Armação, adotou-se a mesma lógica do estudo de caso de Santos, que apresenta mudanças decadais de patamar ancoradas na progressão do índice de intensificação do risco. Assumindo-se que o acréscimo de custeio responda de forma linear (1:1) à variação no risco, pode-se adotar um fator de incremento de 1,092 para os anos 5 a 14, que se acumula em 1,192 para os anos 15 a 24, e finalmente chega a 1,328 para os anos 25 a 30. Nota-se que, assim como para Santos, o patamar dos anos 1 a 4 se mantém sem mudança por representar o risco já embutido na situação de partida. Com essa mecânica, tem-se projeções de custeio público de manutenção da intervenção com infraestrutura predominantemente cinza de R$ 2,42 milhões nos anos 3 e 4; R$ 2,65 milhões entre os anos 5 e 14; R$ 2,89 milhões entre os anos 15 e 24, e enfim de R$ 3,22 milhões entre os anos 25 e 30.

7.2.4. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa

Os custos da intervenção híbrida, predominantemente cinza, foram inicialmente expressos a preços de mercado e, portanto, incorporam tributos indiretos, subsídios e outras distorções dos mercados de bens, serviços e fatores de produção. Para sua conversão a preços sociais, aplicaram-se os fatores constantes do Catálogo de Parâmetros do Guia ACB (Brasil e IPEA, 2022). Como a estimativa atualizada de R$ 121,19 milhões não dispõe de memória de cálculo própria, sua composição foi aproximada pela estrutura do projeto municipal de 2011. As rubricas de dragagem, aterro hidráulico e conformação; geotubos e tapetes de ancoragem; molhes e enrocamentos; urbanização e drenagem; passarelas; mobilização e canteiro foram convertidas pelo fator setorial de obras de infraestrutura, de 0,947. Embora alguns desses grupos contenham materiais e serviços de naturezas distintas, o orçamento não oferece decomposição suficiente entre equipamentos, combustível, mão de obra e insumos físicos que permitam um refino apropriado. Já os projetos de engenharia e ambiental foram convertidos pelo fator de serviços de arquitetura e engenharia, de 0,984.

A ponderação dos fatores pelas respectivas participações resulta em fator médio de conversão de 0,9542. Dessa forma, o Capex de R$ 121,19 milhões a preços de mercado corresponde a R$ 115,64 milhões a preços sociais. Na ausência de decomposição própria dos custos de manutenção, o mesmo fator ponderado pode ser aplicado ao Opex anual, fazendo com que o valor de R$ 2,42 milhões a preços de mercado (nos anos 3 e 4) corresponda a cerca de R$ 2,31 milhões a preços sociais. O custo total do cenário de intervenção híbrida, portanto, é correspondente à soma do valor presente do Capex e do Opex, ambos a preços sociais e convertidos em valor presente pela TSD de 8,5% ao ano, como se apresenta na tabela abaixo.

Tabela 49 - Custo socioeconômico total da alternativa de intervenção híbrida na Praia da Armação

Componente de custo	Valor presente (R$)	R$ por metro linear	Participação (%)
Capex (intervenção híbrida)	103.795.270	125.055	81,7%
Opex (manutenção)	23.183.423	27.932	18,3%
Custo socioeconômico total	**126.978.693**	**152.986**	**100%**

O custo socioeconômico total da intervenção híbrida predominantemente cinza, é de R$ 126,98 milhões em valor presente, equivalentes a R$ 152,99 mil por metro linear dos 830 metros analisados, dos quais 81,7% (R$ 103,80 milhões, ou R$ 125,06 mil por metro linear) correspondem ao Capex. Estes custos, ademais, foram alocados entre os anos 1 e 2, conforme o projeto avaliado e respeitando a proporcionalidade dos 18 meses de obra previstos. Prevê-se, para o Opex, alocação desde o ano 3 até o ano 30.

7.3. Intervenção com SBN

Para o trecho sul da Praia da Armação do Pântano do Sul, a alternativa de Solução baseada na Natureza consiste em transferir ao domínio público a faixa hoje ocupada pela primeira linha de edificações privadas, demolir essas edificações, remover o

enrocamento existente, recompor a cota do terreno e construir um cordão arenoso vegetado com espécies de restinga, restituindo à praia o espaço de acomodação suprimido pela ocupação e pela estrutura rígida. A intervenção materializa a recomendação de Dalbosco et al. (2019), cujas conclusões sugerem avaliar a retirada do enrocamento, e responde diretamente ao diagnóstico de Vianna et al. (2022), para os quais o enrocamento descaracterizou a orla e impediu a recuperação natural do perfil. O objetivo finalístico é devolver à praia o espaço de acomodação de que ela carece, permitindo que o perfil praial migre, que a faixa de areia se ajuste sazonalmente e que a reposição sedimentar tenha maior permanência do que teria em uma condição confinada.

O orçamento é organizado em nove módulos, quais sejam:

- M1. Desmobilização do estoque edificado privado (aquisição e demolição);
- M2. Remoção do enrocamento, das calçadas e acessos, e terraplenagem;
- M3. Carga, transporte e destinação de resíduos para locais adequados;
- M4. Serviços preliminares e administração local (M4a na retração, e M4b na recriação do habitat);
- M5. Reposição sedimentar e conformação do cordão arenoso;
- M6. Reforço estrutural temporário e cercamento;
- M7. Plantio de vegetação nativa de restinga;
- M8. Monitoramento e tratos culturais até o estabelecimento da vegetação; e
- M9. Obras de drenagem e urbanização (equivalentes à intervenção híbrida).

Dada a natureza distinta da retração urbana e da recriação da praia com cordão litorâneo vegetado, estas são abordadas individualmente nos subitens abaixo, embora componham conjuntamente a estratégia de SBN. Os módulos M1 a M3 e parcela do M4 (M4a) são apresentados no item de retração urbana, e são totalmente alocados no ano 1 do fluxo. Já a parcela restante do módulo 4 (M4b) e a totalidade dos módulos M5 a M8, que compõem o bloco de recriação de habitat, são tratados no item 7.3.2. Por fim, este item também aborda o módulo 9, que contempla obras de drenagem e urbanização e garante equivalência na comparação desta alternativa com a intervenção híbrida.

7.3.1. Aquisição e demolição do patrimônio edificado

O presente item aborda o dimensionamento e o orçamento a preços de mercado dos quatro primeiros módulos da alternativa de SBN, quais sejam: M1. Desmobilização do estoque edificado privado (aquisição e demolição); M2. Remoção do enrocamento, das calçadas e acessos, e terraplenagem; M3. Carga, transporte e destinação de resíduos para locais adequados; e M4a. Serviços preliminares e administração local (mobilização, desmobilização, sinalização e administração local).

O primeiro passo para determinar esses módulos é a identificação e quantificação do estoque de edificações privado exposto, que se encontra na primeira linha de ocupação do trecho sul da Praia da Armação do Pântano do Sul. Para tanto, procedeu-se à delimitação dos polígonos correspondentes às áreas construídas constantes no trecho de intervenção, realizado via sistema de informações geográficas (SIG). Nota-se pela figura

abaixo que mesmo as edificações que estão parcialmente sobrepostas à área foram selecionadas. Ao todo, foram identificados 142 polígonos com 14.328 m² de área total.



Figura 13 - Área da retração urbana no trecho sul da Praia da Armação do Pântano do Sul, Florianópolis

Diversas dessas feições, no entanto, trazem projeção horizontal inferior a 40 m², caracterizando eventuais garagens, churrasqueiras, quiosques e outras áreas cobertas que foram excluídas para não valorar toda a cobertura como área residencial principal. Afinal, no preço referencial de mercado (R$/m²), estão incluídos implicitamente o valor do terreno, a localização e as amenidades, embora seja aplicado à área anunciada do imóvel principal. Com esse mesmo racional, sobre a área remanescente foi aplicado um fator redutor de 10% destinado a compensar beirais, áreas cobertas não habitáveis e possíveis imprecisões do mapeamento. Com base neste procedimento, a quantidade de residências passa a ser de 111, contando com área residencial estimada total de 12.228 m² (média de 110 m² de projeção horizontal por edificação). Essa estimativa de prováveis edificações residenciais principais passa a ser, portanto, a proxy das propriedades existentes, mesmo reconhecendo-se que o número de polígonos residenciais difere do número exato de propriedades, dado que uma residência pode estar fragmentada em vários polígonos e um único imóvel pode conter várias construções.

Custo de aquisição do patrimônio edificado

Para estabelecer o valor unitário das propriedades, foram comparadas as referências municipal e local por meio do índice FipeZAP (op. cit.), que registrou preços médios de aproximadamente R$ 12.355/m² em 2025 para a cidade de Florianópolis. Esse índice, contudo, agrega bairros com estruturas imobiliárias distintas, além de acompanhar

anúncios de apartamentos, não sendo diretamente representativo do estoque de casas na Praia da Armação, geralmente térreas e de padrão construtivo médio. Dados específicos na Praia da Armação do Pântano do Sul, indicavam, em 2025, valor médio de venda de R$ 9.500/m^2, com desagregação de R$ 8.170/m^2 para imóveis de três dormitórios, R$ 9.430/m^2 para quatro ou mais dormitórios e R$ 8.880/m^2 para unidades com área entre 120 e 150 m^2 (Zap Imóveis)[112]. Esses valores são mais aderentes às edificações residenciais térreas, e permitem adotar, portanto, o valor arredondado de R$ 9.000/m^2, situado no intervalo observado, em valores de 2025, como parâmetro central para estimar o valor de mercado do estoque residencial exposto. Multiplicando-se a metragem estimada pelo valor unitário médio (R$/m^2), conclui-se que o estoque monta em R$ 110,05 milhões para o conjunto de 111 propriedades defronte à orla, no trecho de interesse (preços de 2025).

Uma vez que essas mesmas residências foram objeto da materialização de danos por galgamento no passado recente, pode-se supor que estejam precificadas abaixo do valor de mercado. Recorda-se que a ressaca de 2010 atingiu 74 residências e provocou a destruição de cerca de 30 delas. Segundo os levantamentos de Ortega e Taspinar (2018) e de Beltrán et al. (2019), situações assim se traduzem em uma redução de aproximadamente 20% nos preços de revenda dos imóveis envolvidos (item 6.2.4). Aplicando-se essa métrica de desvalorização ao valor do estoque, chegou-se à estimativa de R$ 88,04 milhões para a precificação do patrimônio edificado a ser adquirido e então removido.

Importante destacar que a consideração de valor transacional descontado reflete o risco pretérito, e não a perspectiva de intensificação futura. Aplicada a mesma elasticidade de Daniel et al. (2009) ao índice de intensificação do risco da Tabela 48, obtêm-se reduções adicionais de 5,52% entre 2020 e 2030, 6,00% entre 2030 e 2040 e 8,16% entre 2040 e 2050, que somam 19,68 pontos percentuais. Sob essa ótica, o desconto adotado é conservador contra a SBN. Cross et al. (2025) reconhecem que a escolha entre valores anteriores e posteriores à ocorrência de um desastre pode alterar a seleção e o desenho da retração.

Natureza econômica do valor de aquisição

Reforça-se que o pagamento aos proprietários constitui uma transferência entre agentes econômicos e, como tal, neutro na ótica social (HM Treasury, 2020). A retração, no entanto, retira de uso 111 residências e seus terrenos, acarretando uma perda de fruição dos serviços habitacionais que esse estoque prestaria na alternativa comparada; é esse valor de uso preterido que constitui custo de oportunidade real (Brasil, 2022a). O valor transacional, portanto, é aqui adotado como a melhor aproximação disponível para o fluxo esperado desses serviços, ao representar sua capitalização pelo mercado. Dessa forma, o valor de mercado ajustado ao risco e o valor de aquisição coincidem numericamente, mas mantêm naturezas distintas: o primeiro é um custo econômico; o segundo, um instrumento financeiro que desloca esse custo dos proprietários para os contribuintes. Por medir disposição a pagar capitalizada, e não insumo produzido, o valor não recebe fator de conversão, tal como no tratamento do desconto imobiliário em Santos (item 6.2.4).

[112] Portal de pesquisas imobiliárias ZAP Imóvel. Disponível em link.

Dimensionamentos da remoção de infraestrutura

Para estimar o volume de resíduos gerados pela demolição das edificações, adotou-se o coeficiente de 0,66 m^3 por metro quadrado de área construída, derivado do formulário de gerenciamento de resíduos de demolição da Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo de Natal, que estabelece geração de 726 kg/m^2 e densidade aparente de 1.100 kg/m^3 para sua conversão volumétrica[113]. A divisão entre esses parâmetros resulta em 0,660 m^3/m^2. Essa estimativa considera como volume de entulho aquele oriundo de demolição integral de residências de alvenaria, composto por diversas parcelas ponderadas de alvenaria, metal, cerâmica, madeira, telhas e demais frações resultantes.

A projeção horizontal das calçadas e acessos, assim como do enrocamento, foram estimadas via SIG, sendo que os primeiros ocupam 5,50 mil m^2, e o segundo, área de 4,68 mil m^2 no trecho total da intervenção. Adotou-se a espessura aproximada de 0,25 m para as calçadas e acessos, e de 2,00 m para o enrocamento, o que resulta em um volume in situ respectivo de 1,38 e 9,36 mil m^3. A massa correspondente foi estimada pela densidade de 2,5 t/m^3. Já a terraplenagem da área liberada abrange toda a superfície de análise, cuja projeção é de 45.116 m^2. Com base nas características locais, poder-se-ia considerar uma profundidade de escavação de 0,2 m, mas adotou-se, por conservadorismo nas estimativas contra a SBN, 0,5 m de material com densidade de 1,8 t/m^3. A tabela abaixo apresenta os quantitativos de remoção de infraestrutura pública e privada na Praia da Armação do Pântano do Sul.

Tabela 50 - Quantitativos de remoção de infraestrutura na Praia da Armação

Componente	Medida de base	Espessura ou altura (m)	Volume in situ (m^3)	Volume solto (m^3)	Massa (t)
Edificações privadas	12.228 m^2	-	5.765	8.070	8.877
Calçadas e acessos	5.499 m^2	0,25	1.375	1.925	3.437
Enrocamento	4.680 m^2	2,00	9.360	13.104	23.400
Terraplenagem	45.116 m^2	0,50	22.558	31.581	40.604
Total	**-**	**-**	**39.057**	**54.680**	**76.319**

A massa total a transportar, considerando todos os materiais, soma 76,32 mil t. Já o volume solto a espalhar em área de bota-fora licenciada, obtido pela aplicação do fator de empolamento aos volumes in situ, é de 54,68 mil m^3. Quanto à distância média de transporte, adota-se 50 quilômetros em caminhão basculante de 6 m^3, de forma a atender às especificidades da localização da praia e as características insulares do município de Florianópolis. Ambos os parâmetros são onerosos e, assim, conservadores contra a alternativa de SBN. Para fins de simplificação, nenhum valor de recuperação é atribuído ao material removido, mesmo sabendo-se que o material retirado do enrocamento apresenta valor residual de mercado para construção, bem como o entulho de alvenaria é insumo de usinas de reciclagem de resíduos de construção e demolição.

Custo da demolição, remoção, terraplenagem e destinação final

[113] Formulário de gerenciamento de resíduos de demolição. Prefeitura de Natal (RN). Disponível em link.

Os preços unitários dos itens acima listados foram consultados junto ao SICRO-DNIT para o estado de Santa Catarina a preços de outubro de 2025 na condição onerada. Nota-se que, tal como no caso de Santos, foi adicionado um valor arbitrado de R$ 200 mil para considerar a recolocação de rede de distribuição de energia elétrica e de abastecimento de água, bem como a retirada de mobiliário urbano e outros equipamentos públicos, tais como sinalizações. Sobre o subtotal de serviços de cada módulo, incidem serviços preliminares, administração local e BDI com base nos percentuais enumerados no caso de Copacabana. A exceção para estas rubricas é o item 1.1., que perfaz a aquisição do capital privado edificado, uma vez que não se trata de serviço de obra; seu valor representa o custo de oportunidade do estoque retirado de uso, cuja contrapartida financeira é a aquisição pelo poder público. A Tabela 51 apresenta o orçamento resultante da aplicação dos quantitativos acima elencados aos preços unitários, com data base de 2025 e preços de mercado.

Tabela 51 - Orçamento dos módulos de retração urbana da Praia da Armação

Item	Descrição do serviço	SICRO-DNIT	Custo unit. (R$)	Custo total (R$)
M1	**Desmobilização do estoque edificado privado (aquisição e demolição)**			**88.291.925**
1.1	Aquisição do estoque edificado (111 residências)	*	9.000/m²	88.040.533
1.2	Demolição mecanizada de edificações em alvenaria	1619006	43,61/m³	251.392
M2	**Demolição, remoção de infraestruturas públicas construídas, terraplenagem**			**356.223**
2.1	Demolição mecânica de calçadas e acessos	1619006	43,61/m³	59.957
2.2	Remoção mecanizada de rocha (enrocamento)	4915738	6,26/m³	58.594
2.3	Escavação e carga de material (terraplenagem)	4016096	1,67/m³	37.672
2.4	Realocação de rede elétrica e outros	arbitrado	-	200.000
M3	**Carga, transporte e destinação de resíduos em local licenciado**			**3.796.458**
3.1	Carga, manobra e descarga de material demolido	5914675	3,26/t	248.800
3.2	Transporte com caminhão basculante (6 m³)	5914344	0,89/tkm	3.396.193
3.3	Espalhamento de material em bota-fora	4413942	2,77/m³	151.465
M4a	**Serviços preliminares (canteiro, mobilização, sinalização, desvio de tráfego etc.)**			**436.444**
4.1a	Serviços preliminares	Caso RJ	0,0368 **	162.070
4.2a	Administração local	Caso RJ	0,0623 **	274.374
-	**Subtotal sem BDI e sem aquisição do capital edificado (item 1.1) *** **			**4.840.516**
-	BDI (20%)			968.103
-	**CAPEX TOTAL A PREÇOS DE MERCADO**			**93.849.153**

* Valor de transação que inclui terreno. ** Razão adimensional derivada do orçamento de referência de dimensionamento para a infraestrutura cinza do estudo do caso de Copacabana, item 5.2. *** BDI não incide sobre o item 1.1.

Os módulos relativos à cobertura do custo de oportunidade do estoque edificado privado, demolição e remoção das infraestruturas, públicas e privadas, resultam em R$ 93,85 milhões. O orçamento, como era de se esperar, é dominado pela aquisição do capital edificado (93,8%). Dentre os serviços de demolição, remoção e transporte, com

encargos e bonificação, o item de maior peso relativo é o transporte, que representa 3,6% do total e 58,5% dos serviços de obra.

7.3.2. Recriação do habitat costeiro

O presente item aborda o dimensionamento e o orçamento a preços de mercado dos últimos módulos da alternativa de SBN, quais sejam: M4b. Serviços preliminares e administração local correspondentes à recriação do habitat costeiro; M5. Reposição sedimentar e conformação do cordão arenoso; M6. Reforço estrutural temporário com materiais reversíveis e cercamento; M7. Plantio de vegetação nativa de restinga; e M8. Monitoramento e tratos culturais até o estabelecimento da vegetação. Aborda-se, ainda, o M9. Obras de drenagem e urbanização, que permite realizar uma comparação equânime com a intervenção híbrida, embora não componha, stricto sensu, a SBN. Além destes, abordam-se os custos recorrentes de operação e manutenção (Opex) associados.

Concluída a remoção da infraestrutura pública e privada da área de intervenção, a alternativa de SBN prossegue com a recriação do habitat costeiro, composta pela reposição sedimentar e conformação de um cordão arenoso vegetado ao longo de toda a extensão da orla. A concepção segue os módulos definidos para o estudo de caso de Copacabana (item 5.2) e de Santos (item 6.3), incluindo o reforço estrutural temporário, cercamento de proteção contra pisoteio, plantio de espécies nativas associadas à vegetação de restinga, irrigação de implantação e monitoramento (no primeiro ano refletidos no Capex, e nos demais anos no Opex), alterando-se as medidas.

Sobre a reposição sedimentar, adota-se como pressuposto que o material será proveniente de dragagem, tal como na alternativa de intervenção híbrida predominantemente cinza. A alternativa SBN, no entanto, pressupõe que a remoção da infraestrutura urbana modifique a morfologia da praia ao criar espaço antes de repor o sedimento, modificar a condição de contorno na qual a praia se encontra confinada por estruturas rígidas, sem espaço para acomodação natural do perfil. Seguindo Amorim et al. (2023), a vida útil da engorda depende diretamente do grau e da velocidade de erodibilidade da praia, e a necessidade de reposições periódicas ao longo do horizonte de análise (permanência do volume sedimentar reposto) constitui a principal incerteza do caso. Por essa razão ao Opex é adicionado um ciclo de reengorda equivalente a 40% do volume a cada 10 anos, conforme relatos nas demais localidades abordadas no Eixo 1 do presente estudo (Natal e Paulista). Nota-se que o Opex da intervenção de engenharia convencional também pressupõe reengordas periódicas, embora sobre um volume total de sedimentos mobilizado superior ao da SBN.

Concepção e dimensionamento

Nas condições específicas da Praia da Armação do Pântano do Sul, em seu trecho sul, a SBN se instala sobre área da qual foram retiradas as infraestruturas urbanas públicas e privadas. Uma vez que o trecho apresenta processo erosivo ativo e histórico recorrente de galgamento durante ressacas, assume-se que o cordão arenoso deve assumir o porte mais robusto possível, ocupando cerca de 65% da área disponível. A faixa de análise tem largura média de 54,36 metros, obtida pela razão entre a área de 45.116 m^2 e a extensão de 830 metros. Nesta área, concebeu-se um cordão arenoso com 2,0 m de altura de crista, largura de base de 35,0 metros e taludes de 2,67:1, o que resulta em

projeção horizontal de 5,34 m de talude e uma largura de crista de 24,32 m. A área da seção transversal trapezoidal é de 59,32 m^2, permitindo estimar o volume total do cordão arenoso em 49,24 mil m^3.

O confronto entre a largura média da faixa e a base do cordão indica uma praia seca remanescente de cerca de 19,36 m, medida entre o pé do talude frontal e a berma. Essa faixa dá suporte físico ao benefício de amenidade que suporta o pujante turismo da praia, e na situação atual se encontra comprometido devido à presença do enrocamento e da ausência de faixa de areia. Somada à extensão linear de 830 metros, tem-se a criação de uma área utilizável de 16.066 m^2.

Quanto à superfície a vegetar, esta corresponde ao desenvolvimento superficial do cordão, e monta em 29,65 mil m^2. As espécies arbustivas são quantificadas pela densidade de uma unidade a cada dez metros quadrados de superfície vegetada, derivada do estudo de caso de Copacabana, resultando na necessidade de plantio de cerca de 3 mil unidades. O cercamento perimetral é de 1,66 mil m, e a trincheira de pé de talude, com seção de 1,0x0,5 m totaliza 415 m^3 com uso de 830 m^2 de manta geotêxtil de separação. A Tabela 52 apresenta a geometria e os quantitativos do habitat costeiro a ser recriado no trecho sul da Praia da Armação.

Tabela 52 - Geometria e quantitativos da recriação do habitat costeiro na Praia da Armação

Parâmetro	Valor	Unidade	Detalhamento
Extensão do trecho de orla	830	m	Trecho sul, delimitado em SIG
Área total a renaturalizar	45.116	m^2	Delimitação da intervenção
Altura da crista do cordão arenoso	2,00	m	Premissa de projeto
Largura da crista	24,32	m	Premissa de projeto
Inclinação dos taludes	2,67:1	H:V	Equivalente a 20,6º
Largura da base do cordão	35,00	m	Derivada da geometria
Área da seção transversal	59,32	m^2	Derivada da geometria
Volume de areia - reposição de cota	22.558	m^3	Volume de terraplenagem
Volume de areia - cordão arenoso	49.236	m^3	Derivado da geometria
Desenvolvimento de cada talude	5,70	m	Comprimento inclinado da face
Superfície vegetada total*	29.651	m^2	Perímetro vegetado
Quantidade de arbustos	2.965	un.	1 a cada 10 m^2
Extensão de cercamento	1.660	m	Face com mar e retaguarda
Volume trincheira de proteção de pé	415	m^3	Seção de 1,00 m por 0,50 m **

* A superfície vegetada corresponde ao desenvolvimento inclinado dos taludes somado à crista, e se constitui em base de cálculo do plantio e da manutenção. ** Escalonada a partir do caso carioca em função da altura do cordão.

Nota-se que o volume total de areia mobilizada para a implantação da SBN é de 71,79 mil m^3, compostos pela recomposição de cota de 22,56 mil m^3, e pelo volume do cordão arenoso de 49,24 mil m^3. Nota-se que a alternativa de intervenção híbrida prevê mobilização de cerca de 310 mil m^3 ao longo dos 1.600 metros do projeto, ou seja, cerca de 194

m^3 por metro linear, 2,2 vezes o volume por metro linear da SBN (86,50 m^3/m). O sedimento, embora possa ser parcialmente obtido na berma da própria enseada, uma vez que sua porção norte apresenta processo de acreção, foi assumido como totalmente oriundo de dragagem, conforme orçamento abaixo.

Custos de implantação (Capex) de recriação do habitat costeiro

O volume total de areia a remanejar, que inclui a reposição de cota e a formação do cordão, é de 71,79 mil m^3, equivalente a aproximadamente 86,50 m^3 por metro linear. Como parâmetro de custo unitário para o remanejamento da areia, adotou-se novamente o de Matinhos (IAT, 2021), que corresponde a R$ 54,58/m^3 a preços de 2025 e inclui (sem BDI) a operação de draga autotransportadora com jazida a 4 km, montagem das linhas de recalque, lançamento e conformação mecânica do material. Nota-se que no caso de Florianópolis, considerou-se o custo referente à mobilização da draga.

Os custos das demais linhas orçamentárias seguem as composições do SCO-Rio, empregadas no estudo de caso de Copacabana, uma vez que os sistemas referenciais de preços (SICRO-DNIT e SINAPI-Caixa) não contemplam rubricas de fornecimento e plantio de espécies vegetais, cercas de retenção sedimentar e monitoramento fitossanitário com o mesmo nível de detalhes e especificações para a vegetação de restinga. Embora essa transposição de valores possa introduzir alguma imprecisão, a magnitude dos resultados não deve ser afetada. A título de comparação, o item SICRO-DNIT nº 4413012, de preenchimento de erosão em talude com terra vegetal e sementes de gramíneas ensacadas, na mesma data-base (outubro de 2025) é de R$ 480,78/m^3 no estado do Rio de Janeiro, R$ 496,41/m^3 em São Paulo, e de R$ 409,37/m^3 em Santa Catarina. A divergência tende, assim, a favorecer o conservadorismo do orçamento da SBN.

O investimento de capital (Capex) para a recriação do habitat costeiro no trecho sul da Praia da Armação é apresentado na Tabela 53, a preços de mercado.

Tabela 53 - Orçamento de recriação do habitat costeiro na Praia da Armação do Pântano do Sul

Item	Descrição do serviço	Ref. Sistema de Custo	Custo unit. (R$)	Custo total (R$)
M5	**Reposição sedimentar e conformação do cordão arenoso**			**3.918.495**
5.1	Reposição de cota	Matinhos (IAT)	54,58/m^3	1.231.216
5.2	Reposição e conformação do cordão	Matinhos (IAT)	54,58/m^3	2.687.279
M6	**Reforço estrutural temporário e cercamento**			**337.169**
6.1	Proteção em saco de solo-cimento	ET 70.05.0100 *	28,08/un	166.474
6.2	Manta geotêxtil de separação	DR 65.05.0100 *	7,85/m^2	6.516
6.3	Cerca de retenção em PEAD	PJ 15.10.0900 *	37,92/m^2	31.474
6.4	Moirão de madeira da cerca de retenção	PJ 15.05.0125 *	83,44/un	23.085
6.5	Moirão em madeira do cercamento	PJ 15.05.0125 *	83,44/un	92.340
6.6	Arame galvanizado, três fiadas	SC 40.05.0050 *	3,47/m	17.281
M7	**Plantio de vegetação de restinga**			**1.852.839**
7.1	Espécies vegetais de restinga	PJ 05.05.0800 *	39,25/m^2	1.163.815

7.2	Plantio de cobertura vegetal	PJ 05.10.0065 *	18,50/m²	548.550
7.3	Espécies arbustivas de restinga	PJ 10.30.0100 *	29,00/un	85.989
7.4	Plantio de arbusto	PJ 10.05.0100 *	2,11/un	6.256
7.5	Irrigação de implantação	EQ 05.05.0600 *	195,95/h	48.230
M8	**Monitoramento e tratos culturais no primeiro ano** **			**92.349**
8.1	Monitoramento biólogo	AD 40.05.0094 *	44,42/h	36.444
8.2	Monitoramento técnico	AD 40.05.0086 *	31,44/h	25.795
8.3	Monitoramento auxiliar	AD 40.05.0092 *	36,70/h	30.110
M4b	**Serviços preliminares (desmobilização, sinalização etc.)**			**614.504**
4.1b	Serviços preliminares	Est. caso RJ ***	0,0368	228.191
4.2b	Administração local	Est. caso RJ ***	0,0623	386.313
-	**Subtotal sem BDI**			**6.815.357**
-	BDI (20%)			1.363.071
-	**CAPEX TOTAL A PREÇOS DE MERCADO**			**8.178.428**

* Sistema de preços SCO-Rio. ** As campanhas de monitoramento e tratos culturais desta tabela estão restritas ao primeiro ano por comporem o Capex; o Opex considera a continuidade dessas ações. *** Razão adimensional derivada do orçamento de referência de dimensionamento para a infraestrutura cinza do estudo do caso de Copacabana, item 5.2.

O Capex de implantação dos módulos 5 a 8, incluindo também sua fração correspondente de serviços preliminares e BDI, totaliza R$ 8,18 milhões a preços de mercado, equivalentes a R$ 9,85 mil por metro linear de orla ou ainda R$ 275,82 por m² de superfície vegetada. A reconstituição geomorfológica, ao mobilizar 71,79 mil m³ de sedimento, domina a estrutura de custos, respondendo por 47,9% do total.

Módulo 9: urbanização e drenagem

Por fim, o orçamento da intervenção de SBN adiciona o módulo 9, correspondente às obras de drenagem (canaletas e caixas coletoras) e urbanização (calçadas, pavimentação, arborização e iluminação). Estes itens são diretamente transpostos da alternativa de intervenção híbrida predominantemente cinza, e sua adição visa manter a comparação equânime. No projeto da Prefeitura Municipal de Florianópolis (2011), representam 11,18% do total, com BDI incluído. Aplicando essa participação ao custo total atualizado da intervenção híbrida, tem-se R$ 13,54 milhões, a preços de mercado, para essas intervenções complementares também incluídas no projeto da alternativa de SBN.

Custos totais da alternativa de SBN e alocação temporal

A Tabela 54 apresenta a consolidação dos custos de implantação (Capex) da alternativa de SBN, a preços de mercado na data base de 2025 com BDI. Apresenta-se, também, a alocação temporal dos itens. O valor global monta em R$ 115,57 milhões, sendo que 76,4% são referentes à aquisição e retração do capital privado edificado. Importante notar que há uma desvantagem imputada à SBN ao se alocar a aquisição integral do estoque edificado privado ao ano 1. Afinal, uma vez que o valor espelha o custo de oportunidade de uso do patrimônio, e não seu valor per se (que perfaz mera transferência), seu

desdobramento ocorre ao longo do tempo, e não de forma imediata e única. Trata-se de uma das assimetrias contra a retração identificada por Cross et al. (2025).

Tabela 54 - Custos totais de implantação de SBN na Praia da Armação (preços de mercado)

Módulo	Descrição do serviço	Custo total (R$)	Participação (%)	Alocação temporal
M1	Desmobilização do estoque edificado privado	88.342.203	76,4%	Ano 1
M2	Demolição, remoção, terraplenagem	427.467	0,4%	Ano 1
M3	Carga, transporte e destinação de resíduos	4.555.749	3,9%	Ano 1
M4	Serviços preliminares e administração local	1.261.138	1,1%	Anos 1 e 2
M5	Reposição sedimentar e cordão arenoso	4.702.194	4,1%	Ano 2
M6	Reforço estrutural temporário e cercamento	404.603	0,4%	Ano 2
M7	Plantio de vegetação de restinga	2.223.407	1,9%	Ano 2
M8	Monitoramento e tratos culturais no primeiro ano	110.819	0,1%	Ano 2
M9	Urbanização e drenagem	13.543.591	11,7%	Ano 3
-	**TOTAL**	**115.571.171**	**100,0%**	-

Custos de operação e manutenção (Opex)

O custeio de manutenção da alternativa de SBN se dá pela aplicação do parâmetro de 12,71% ao ano, derivado do orçamento da alternativa correlata no caso de Copacabana, ao Capex. A base de incidência para tal, evidentemente, é o custo de capital das ações de recriação de habitat, deduzidos do valor bruto da recomposição de cota. Em conjunto, resultam na base de R$ 6,95 milhões. Sobre essa, estima-se manutenção anual de R$ 882,99 mil. À manutenção, soma-se a reengorda periódica do cordão arenoso, dimensionada em 40,0% do volume a cada dez anos, conforme as experiências de Natal e Paulista. A base da reengorda é o valor do item de conformação do cordão acrescido de encargos indiretos e BDI, o que resulta em provisão anualizada de R$ 141,77 mil. O custeio total da alternativa de SBN, portanto, monta em R$ 1,02 milhão por ano a preços de mercado. Assume-se, ainda, que o Opex da intervenção pela via de SBN não sofra os acréscimos escalonares do índice de intensificação do risco, uma vez que pressupõe espaço de acomodação natural restituído.

7.3.3. Conversão a preços sociais e custo total da alternativa

A estimativa para os próximos 30 anos do investimento de capital (Capex) e do custeio de manutenção da intervenção via SBN reflete valores de mercado, e deve ser corrigida pelas distorções decorrentes da incidência de tributos indiretos, de subsídios e das imperfeições dos mercados de fatores. Para tal, faz-se uso dos fatores de conversão constantes do Catálogo de Parâmetros (Brasil e IPEA, 2022). Essa conversão requer desagregar o orçamento por grupo de insumo, conforme se apresenta na tabela abaixo. O fator de conversão da mão de obra (0,765) é específico para a Região Sul, e resulta da ponderação de dez por cento para mão de obra qualificada, com fator de 0,788, e noventa por cento para mão de obra não qualificada, com fator de 0,762. Para os módulos afetos à

remoção da infraestrutura pública existente (demolição, remoção, terraplenagem; carga, transporte e destinação de resíduos em local licenciado; e serviços preliminares), adotou-se o fator de conversão setorial de obras de infraestrutura, de 0,947. Já para o Capex da implantação do cordão litorâneo vegetado, utilizou-se da mesma abertura de rubricas que para a SBN do caso de Copacabana. Nota-se que o item de maior peso global, correspondente à aquisição do capital edificado privado, não traz conversão. A tabela abaixo apresenta os resultados.

Tabela 55 - Conversão a preços sociais da alternativa de SBN na Praia da Armação

Grupo de insumo	Preço de mercado (R$)	Fator de Conversão	Referência do FC (Catálogo de Parâmetros)	Preço social (R$)
Aquisição do capital privado edificado	88.040.533	1,0000	Valor de uso preterido (proxy pelo valor transacional)	88.040.533
Obras de retração urbana (M2 a M4)	5.808.620	0,9470	FCS obras de infraestrutura	5.500.763
Insumos vegetais	1.249.803	0,9660	FCS produtos da exploração florestal e da silvicultura	1.207.310
Insumos de madeira	115.425	0,9350	FCS produtos de madeira, exclusive móveis	107.923
Serviços técnicos e administração	614.504	0,9840	FCS serviços de arquitetura e engenharia	604.672
Plantio e manutenção	695.385	0,7650	FCMO ponderado (10/90) para Região Sul	531.935
Reposição sedimentar e demais itens	4.140.239	0,9470	FCS obras de infraestrutura	3.920.806
Urbanização e drenagem	13.543.591	0,9470	FCS obras de infraestrutura	12.825.780
BDI	1.363.071	0,9350	Fator de conversão ponderado dos demais itens	1.274.530
TOTAL	**115.571.172**	**0,9865**	**Fator ponderado resultante**	**114.014.252**

Quanto ao Opex, utilizou-se do mesmo fator de conversão ponderado para o Capex de implantação do cordão, ou seja, 0,935. Com isso, a expressão dos gastos anualizados em preços sociais passa a ser de R$ 958,20 mil. A Tabela 56 sintetiza os valores apresentados, listados por seu valor presente do fluxo de 30 anos descontado pela TSD de 8,5%. Nota-se que, em termos de alocação temporal, as obras de retração urbana foram alocadas no ano 1, seguidas das obras de implementação da SBN propriamente dita no ano 2 e das intervenções complementares de drenagem e urbanização no ano 3. O Opex, assim, passa a incidir anualmente a partir do ano 4, permanecendo até o 30º.

O custo socioeconômico total associado ao cenário alternativo (implantação de SBN com retração urbana, pública e privada), expresso em valor presente, monta em R$ 110,60 milhões, ou ainda R$ 133,25 mil por metro linear de orla, considerando a extensão de 830 m de intervenção. Esse custo representa a alternativa ao projeto aventado de intervenção híbrida a partir de engorda da praia e infraestruturas rígidas (molhe e

enrocamento de proteção). Em valor presente, observa-se que os custos de manutenção, mesmo incluindo a perspectiva de reengorda periódica, acabam sendo a rubrica menos elevada no ciclo total de 30 anos. Parte significativa desse resultado se dá pelo alto custo inicial de desapropriação das edificações privadas, que faz com que o Capex represente 92,9% do total.

Tabela 56 - Custo socioeconômico total da alternativa de SBN na Praia da Armação

Componente de custo	Valor presente (R$)	R$ por m linear	Participação (%)
Capex (anos 1 a 3)	102.750.517	123.796	92,9%
Opex (anos 4 a 30)	7.850.334	9.458	7,1%
Custo socioeconômico total	**110.600.851**	**133.254**	**100%**

7.4. Análise comparativa

7.4.1. Comparação dos custos de intervenção

O processo erosivo no trecho sul da Praia da Armação do Pântano do Sul precisa ser endereçado, e para tal foram concebidas duas trajetórias de adaptação, avaliadas pelo custo socioeconômico de implantá-las e mantê-las pelos próximos 30 anos: a intervenção de engenharia costeira híbrida predominantemente cinza, ancorada em projeto institucional, e a alternativa de Solução baseada na Natureza, fundada na retração urbana planejada da primeira linha de ocupação e na reconstrução do sistema praia-cordão arenoso vegetado. Ambas se destinam a enfrentar o processo erosivo do mesmo trecho de 830 metros de orla (no caso da intervenção híbrida, por meio de sistema indivisível concebido para 1.600 metros da enseada, conforme item 7.1), sob as mesmas convenções de horizonte temporal, taxa social de desconto de 8,5% ao ano, BDI de 20%, coeficientes de serviços preliminares e de administração local, data-base de 2025 e fatores de conversão a preços sociais do Catálogo de Parâmetros, de modo que os resultados são diretamente comparáveis.

As duas trajetórias avaliadas divergem pela natureza do recurso mobilizado. A intervenção híbrida predominantemente cinza, faz uso do aporte de sedimentos e de estruturas rígidas para impedir o processo erosivo. Para tanto, mobiliza cerca de 310 mil m^3 via aterro hidráulico e enchimento de geotubos, fixando a linha de costa com estruturas submersas, molhe e enrocamento de proteção. A Solução baseada na Natureza, por outro lado, visa ceder espaço para que o sistema praial possa se adaptar de forma natural, e mobiliza, por metro linear, cerca de 2,2 vezes menos sedimentos (86,50 m^3/m, contra 193,67 m^3/m da alternativa híbrida) porque devolve à praia o espaço para que o perfil se acomode, ao custo de adquirir e demolir 111 edificações da primeira linha de ocupação.

A comparação das alternativas revela que executar a adaptação do trecho pela via da retração urbana e da recriação do sistema praial custa R$ 16,38 milhões a menos, em valor social presente, do que pela via da engenharia híbrida predominantemente cinza, o que representa economia de R$ 19,73 mil por metro linear de orla, ou 12,9% do dispêndio socioeconômico. Tomados os custos evitados da intervenção híbrida como

benefício da alternativa natural, o índice benefício-custo alcança 1,15. A Tabela 57 traz a comparação dos custos socioeconômicos das intervenções na Praia da Armação, e consolida os parâmetros de custo apurados nos itens anteriores.

Tabela 57 - Comparação dos custos socioeconômicos das intervenções na Praia da Armação

Parâmetro	Cenário de intervenção híbrida	Cenário alternativo (SBN)	SBN / Híbrida
Capex a preços de mercado (R$)	121.188.000	115.571.171	95,4%
Fator de conversão médio ponderado	0,9542	0,9865	-
Capex a preços sociais (R$)	115.637.590	114.014.252	98,6%
Opex anual a preços sociais (R$)	2.312.752 a 3.071.334	958.197	41,4% *
Valor presente do Capex (R$)	103.795.270	102.750.517	99,0%
Valor presente do Opex (R$)	23.183.423	7.850.334	33,9%
Valor social presente total, 30 anos (R$)	**126.978.693**	**110.600.851**	**87,1%**
Valor presente por metro linear (R$/m)	152.986	133.254	87,1%
Participação do Opex no valor presente	18,3%	7,1%	–
Volume de sedimento mobilizado (m^3)	309.870	71.794	23,2%

* Patamar dos anos iniciais.

Em uma leitura pela natureza dos custos, a composição das alternativas se revela distinta, pois cerca de 73,3% do custo da SBN corresponde ao valor de uso preterido do estoque edificado, isto é, a serviços habitacionais que deixam de ser fruídos na faixa de risco. Esse estoque já está depreciado pelo risco materializado. Os demais R$ 29,46 milhões correspondem a insumos produzidos e consumidos (obras, sedimento, vegetação, serviços), ou R$ 35,49 mil por metro linear dos 830 metros analisados, o equivalente a apenas 23,2% dos R$ 152,99 mil por metro linear da alternativa via intervenção híbrida. Esta, por sua vez, converte praticamente todo o seu orçamento em consumo de insumos (dragagem, rocha, geotêxtil, equipamentos e combustível). Na dimensão financeira e distributiva, assim, a maior parte do desembolso público da SBN é aquisição patrimonial, que compensa os proprietários em vez de remunerar insumos. Já na dimensão econômica, a terra em si não é destruída, mas tão somente muda de uso e passa a integrar uma área natural pública, cujos benefícios de amenidade e ecológicos são reconhecidos a seguir.

Em uma leitura por trajetória, tem-se que o Opex da intervenção híbrida predominantemente cinza, é 2,41 vezes superior ao da alternativa SBN em seu patamar inicial. Além disso, é crescente ao longo do horizonte, acompanhando a progressão do índice de intensificação do risco de galgamento, até alcançar R$ 3,07 milhões anuais a preços sociais no último decênio. Seu valor presente, de R$ 23,18 milhões, equivale a 18,3% do custo total. O Opex da alternativa natural permanece constante em R$ 958,20 mil, correspondendo a 7,1% do total, porque se pressupõe que o espaço de acomodação restituído absorve parte da solicitação hidrodinâmica que, na alternativa rígida, se converte em reparo. A premissa de não escalonamento do Opex da SBN, embora favorável a essa alternativa, não modifica o resultado da comparação.

7.4.2. Externalidades e cobenefícios

As duas alternativas avaliadas pretendem atingir o mesmo objetivo final, que, além da proteção contra a erosão, inclui a restituição de faixa de areia seca utilizável em uma enseada cujo uso balneário constitui a principal função econômica do bairro. Por essa razão, ambas agregam o benefício de amenidade, que não integra, assim, a comparação incremental. Sua magnitude, contudo, merece registro, porque dimensiona um aspecto central da decisão que não está incorporado na comparação até aqui realizada.

Ganhos de amenidade pelos fluxos turísticos

Estimado pela capacidade de suporte física da faixa restituída, o benefício anual de amenidade alcança R$ 4,28 milhões, equivalentes a R$ 266,41 por metro quadrado de praia seca por ano e a R$ 5,16 mil por metro linear de orla por ano, com valor presente de R$ 35,07 milhões ao longo dos anos 4 a 30. A estimativa foi realizada a partir da restauração de 16,07 mil m^2 de área utilizável, que nos 90 dias-equivalentes de ocupação plena por ano pode ter densidade de até 20 m^2 por banhista (limite superior da faixa de uso médio identificada por Silva et al., 2009), ou seja, 803 visitantes simultâneos. A partir da quantidade de pessoas, tornou-se possível estimar os gastos atribuíveis, com base na média de dispêndios de R$ 59,20 por pessoa e por dia (derivado da rubrica de lazer da pesquisa de Temporada de Verão 2025 da Fecomércio-SC)[114].

Ganhos de amenidade pela valorização imobiliária

Como verificação complementar para essa estimativa de ganhos de amenidades, toma-se a rota alternativa de valorização do estoque imobiliário da retaguarda, que seria gerada a partir da remoção do estoque atualmente na linha de frente e concomitante redução do risco de galgamento. Por meio de inspeção em ambiente SIG e adoção dos mesmos procedimentos que permitiram identificar as propriedades a serem desapropriadas, estimou-se haver 179 propriedades na faixa aproximada de 100 metros que passa a ser a linha de frente, com área construída de 20,70 mil m^2 (média de 116 m^2 de projeção horizontal por propriedade). Com base nos resultados de Seabra et al. (2016), aplicou-se uma valorização imobiliária de 13,3% para o estoque edificado (efeito direto da vista para o mar estimado para Recife, tomado como ordem de grandeza), que passaria de R$ 186,29 milhões para R$ 211,07 milhões. A diferença de R$ 24,78 milhões dessa estimativa por preços hedônicos monta em 70,7% do valor estimado pelo fluxo turístico, mas apresenta ordem de grandeza compatível. As duas métricas, mesmo mensurando objetos distintos, demonstram que os ganhos com amenidades podem ser significativos.

Nota-se que essa valorização da retaguarda não é somada ao benefício de amenidade nem tratada como ganho líquido adicional. Seguindo Parsons e Powell (2001), parte dela corresponde ao prêmio de proximidade que se transfere da antiga para a nova primeira linha, portanto uma transferência entre proprietários com repercussão econômica nula. A parcela restante, associada à redução do risco e à qualidade da praia restituída, é o que constitui ganho social real. O papel da valoração aqui apresentada é somente o de verificar a ordem de grandeza.

[114] Pesquisa Turismo de Verão no Litoral Catarinense 2025. Florianópolis: Fecomércio-SC. Disponível em link.

Sustentação dos ganhos de amenidades

Embora ambas as alternativas devolvam área útil de lazer ao trecho sul da Praia da Armação, e ao fazê-lo promovam cobenefícios de amenidades, existem chances de que a opção pela obra híbrida predominantemente cinza, não sustente essa entrega. Primeiramente, o histórico da resposta rígida implantada na própria praia, em 2010, indica que o processo erosivo não foi contido e, segundo a literatura, esteve associada à sua intensificação em determinados setores (Vianna et al., 2022; Frohlich et al., 2021; Dalbosco et al., 2019).

Adicionalmente, a alimentação artificial de praia, componente principal da alternativa híbrida, tem em Santa Catarina histórico documentado de reversão. Conforme nota técnica de 2023 da Universidade Federal de Santa Catarina, *"em todas as praias alimentadas artificialmente tem ocorrido processos erosivos mais intensos do que antes do aterro"*, porque a areia depositada artificialmente sobre a praia resulta em um perfil que não está em equilíbrio com o clima de agitação de ondas local, e que parte substancial do material é derivada até que o sistema reencontre seu balanço (UFSC, 2023). O mesmo documento contesta a premissa de que se trata de intervenção de impactos locais, observando que as praias vizinhas são igualmente atingidas pelo aterro[115]. Nota técnica posterior da mesma instituição acrescenta evidências de que os aterros realizados no estado não cumpriram seus objetivos, e que todas as praias aterradas apresentaram aumento significativo de amostras impróprias para banho durante ou após as obras, além de elevação do risco de afogamento (UFSC, 2025).

Os casos concretos do próprio município confirmam que a reversão da eventual engorda na praia da Armação deve ser considerada. O alargamento de 2,87 quilômetros concluído em 2023 na Praia dos Ingleses teve vida útil declarada de cerca de cinco anos, sendo que em outubro de 2025 o avanço do mar atingiu residências e orlas, inclusive em trechos anteriormente alargados da praia, ao ponto de se decretar situação de emergência[116]. Na obra de engordamento da Praia de Jurerê, também em Florianópolis, o avanço dos serviços em 2026 alcançou trecho que já havia sido engordado anteriormente, mas havia perdido integralmente a faixa de areia[117].

Segundo Klein et al. (2016), as taxas de transporte sedimentar longitudinal na costa catarinense se situam entre 20 mil e 500 mil metros cúbicos por ano, magnitude comparável ao próprio volume aportado pelas obras e que explica por que a permanência do sedimento depende menos do volume lançado do que da condição de contorno em que ele é colocado. Uma vez que os efeitos socioeconômicos positivos dessas intervenções são reais e documentados, como na avaliação de impactos percebidos e realizados do engordamento de Balneário Piçarras, conduzida por Reid et al. (2024), tem-se uma questão de sustentação da solução, e não ineficácia. No caso específico da Praia da Armação, a engorda seria aplicada a um trecho que permanece confinado entre o mar e a mesma primeira linha de ocupação já atingida em 2010, condição de contorno que a alternativa de Solução baseada na Natureza remove, mas que a intervenção híbrida preserva.

[115] *Alargamentos de praias em SC afetam orlas vizinhas e causam consequências, aponta estudo da UFSC*. G1 Santa Catarina. 12 dez. 2023. Disponível em link.
[116] *Florianópolis decreta emergência após avanço do mar atingir residências e orlas*. SCTD. 11 out. 2025. Disp. em link.
[117] *Alargamento de faixa de areia chega a Jurerê Tradicional*. TV Barriga Verde. 12 fev. 2026. Disponível em link.

Implicações para a análise econômica

A implicação econômica da possível reversão das obras de engorda previstas pela alternativa híbrida predominantemente cinza, é direta, pois dado que ambas as alternativas projetam ofertar faixa de areia útil, mas apenas uma delas consegue sustentá-la, tem-se que:

- O Opex da intervenção híbrida pode estar subestimado, exigindo na prática maiores recursos para manter a faixa de areia e garantir os benefícios decorrentes de proteção e de amenidade; ou
- O benefício de amenidade e da valorização imobiliária da retaguarda têm probabilidade de realização desigual.

Para quaisquer das situações, tem-se uma ampliação da vantagem para a alternativa de SBN frente à da intervenção híbrida predominantemente cinza, pois as assimetrias aqui descritas não foram monetizadas no cenário central (ver estes testes no item 7.4.3). Trata-se de argumento importante em uma comparação cujos custos diferem em apenas 12,9%.

Adicionalmente, a recriação do cordão arenoso vegetado com espécies de restinga agrega habitat e conectividade ecológica em um trecho onde a vegetação costeira foi suprimida, além de informação estética e inspiração cultural e suporte a fases do ciclo de vida de espécies migratórias. A alternativa híbrida não reproduz esses atributos, e acrescenta estruturas rígidas ao sistema, consolidando a trajetória de dependência que restringe opções futuras de adaptação.

Registra-se ainda que o molhe existente na enseada permanece intocado nas duas alternativas aqui analisadas, ainda que análises multitemporais associem sua presença à perda líquida de sedimentos, de modo que sua contribuição não quantificada incide simetricamente sobre ambas. A intervenção híbrida, no entanto, acrescenta novo molhe e enrocamento de proteção, cujos efeitos sobre trechos adjacentes não foram estimados; como indica a literatura, todavia, podem vir a contribuir para o processo erosivo ao invés de auxiliar em sua contenção.

Por fim, tem-se que a alternativa via SBN impõe um custo social não monetizado, decorrente do deslocamento involuntário de 111 domicílios. Para os imóveis vocacionados ao lazer, a perda de vínculos comunitários e de identidade territorial passa a ser um problema de baixa amplitude; já sob a hipótese de abranger moradores tradicionais e vinculados ao núcleo pesqueiro histórico, tem-se dimensão que a indenização/aquisição patrimonial não compensa (como apego ao lugar, perda de vínculos comunitários e efeitos sobre a comunidade receptora).

Cabe destacar que a literatura de retração planejada aponta que a justiça da compensação é frequentemente contestada, podendo ser vista tanto como transferência de riqueza a proprietários que assumiram o risco conscientemente, quanto como compensação insuficiente para famílias vulneráveis (Cross et al., 2025). Por essa razão, a compensação patrimonial é aqui abordada como uma questão distributiva, mas não de eficiência. Afinal, a retração é aqui concebida como preventiva, o que evita o potencial "duplo trauma" de sofrer o desastre e depois uma remoção reativa, além de permitir o uso das terras liberadas para acomodar a SBN.

7.4.3. Sensibilidade dos resultados

A comparação entre as alternativas para o trecho sul da Praia da Armação do Pântano do Sul apoia-se em uma estimativa institucional veiculada para a intervenção híbrida, em parâmetros de mercado imobiliário para a aquisição do estoque edificado e em orçamentos elaborados com sistemas referenciais de custos para a recriação do habitat, cada qual sujeito a premissas próprias. Para avaliar a robustez dos resultados, foram realizados testes univariados, nos quais cada premissa é alterada isoladamente, mantendo-se as demais constantes; testes combinados, que reúnem premissas simultaneamente favoráveis e desfavoráveis à alternativa de SBN; e o cálculo de valores de reversão. Todos os resultados estão expressos em valor presente, a preços sociais de 2025, descontados à TSD de 8,5% a.a. ao longo de 30 anos, e são apresentados na Tabela 58.

Dada a estreita diferença entre as alternativas, a premissa de maior influência é a própria magnitude da intervenção híbrida predominantemente cinza. Conforme exposto no item 7.1, o projeto de referência foi concebido para 1.600 metros da enseada como sistema indivisível, sem detalhamento sobre o desdobramento dessa intervenção em cada subtrecho, e seu custo integral foi imputado à extensão de análise, de 830 metros. Caso esse custo fosse proporcionalizado à extensão analisada (51,9%), a híbrida passaria a custar R$ 65,87 milhões, e a SBN tornar-se-ia R$ 44,73 milhões mais custosa (índice benefício-custo de 0,60). O teste deve ser lido apenas como limite, e não como estimativa alternativa, pois pressupõe uma versão parcial da obra que não necessariamente é equivalente em toda extensão declarada e cuja eficácia não está demonstrada. No mesmo sentido, uma variação ad hoc de ±25% no Capex da híbrida, que reflete a incerteza de uma estimativa veiculada sem maiores detalhes, faz seu custo oscilar entre R$ 95,23 milhões e R$ 158,72 milhões; o valor de reversão corresponde a um Capex 12,9% inferior ao adotado. Já a adoção do fator de conversão de obras de infraestrutura (0,947) para todo o orçamento da híbrida tem efeito reduzido, com vantagem da SBN de R$ 15,42 milhões.

Quanto ao custeio da híbrida predominantemente cinza, a premissa de não escalonamento do Opex da SBN, embora favorável a essa alternativa, não modifica a hierarquia: escalonado na mesma medida que o da híbrida, o Opex da SBN reduz a vantagem de R$ 16,38 milhões para R$ 15,37 milhões. No sentido oposto, sem o escalonamento do Opex da híbrida, isto é, mantido o patamar inicial de R$ 2,31 milhões por ano, a SBN continuaria a comandar vantagem de R$ 13,95 milhões. Testado em toda a amplitude da literatura empregada no caso de Copacabana (item 5.3.3), o parâmetro de 2% ao ano produz vantagem da SBN de R$ 4,79 milhões com 1% ao ano (USACE, 1995; Nicholls et al., 2017), de R$ 27,97 milhões com 3% (King et al., 2016) e de R$ 51,15 milhões com 5% ao ano (Waikato Regional Council). O valor de reversão é de 0,59% ao ano. A hipótese de reconstrução parcial equivalente a 25% do Capex no ano 15, adotada no caso de Copacabana a partir da evidência de colapso das estruturas de Paulista, amplia a vantagem para R$ 24,88 milhões.

Na aquisição do estoque edificado, que responde por cerca de três quartos do custo da SBN, a premissa mais relevante é o desconto pretérito de 20% associado à materialização dos danos de 2010. Desconsiderado esse desconto, com tudo mais mantido constante, a SBN passa a ser R$ 3,91 milhões mais custosa; com desconto de 10%, sua vantagem se reduz a R$ 6,23 milhões, e o valor de reversão é de 3,9%. O valor unitário tem

efeito semelhante: adotando-se as referências da própria praia, de R$ 8.170/m² (três dormitórios) ou R$ 9.500/m² (média), a vantagem varia entre R$ 23,86 milhões e R$ 11,87 milhões; já com a média municipal do FipeZAP, de R$ 12.355/m², pouco representativa do estoque de casas térreas da Armação, a SBN seria R$ 13,87 milhões mais custosa. Para esse parâmetro, o preço de reversão é de R$ 10.817/m². O redutor de 10% sobre a área construída, por sua vez, faz a vantagem variar entre R$ 7,36 milhões (sem redutor) e R$ 25,39 milhões (redutor de 20%).

Nos demais custos da SBN, os efeitos são de menor ordem. A adoção de profundidade de terraplenagem de 0,2 m, que o próprio dimensionamento indica ser compatível com as características locais, amplia a vantagem para R$ 18,84 milhões; o parâmetro da areia sem mobilização de draga (R$ 51,85/m³, como em Santos) ou ao preço efetivamente contratado em Matinhos (-17,5%) a eleva para R$ 16,84 milhões e R$ 17,98 milhões, respectivamente. Uma variação ad hoc de ±25% no Capex da SBN, exceto a aquisição e as obras de drenagem e urbanização, faz a vantagem oscilar entre R$ 13,49 milhões e R$ 19,27 milhões. No custeio, a aplicação do critério por unidade de superfície vegetada adotado em Copacabana (R$ 18,67/m² ao ano), em vez da fração de 12,71% sobre um Capex dominado pela reposição sedimentar, eleva a vantagem para R$ 18,90 milhões; a supressão ou a duplicação dos ciclos de reengorda a fazem variar entre R$ 15,29 milhões e R$ 17,46 milhões.

Dois testes adicionais monetizam assimetrias descritas qualitativamente no item 7.4.2. O primeiro trata da sustentação desigual da faixa de areia: caso a faixa restituída pela intervenção híbrida tenha vida útil de cerca de cinco anos, tal como declarado para o alargamento da Praia dos Ingleses, o benefício de amenidade de R$ 4,28 milhões ao ano deixaria de ser entregue por essa alternativa a partir do ano 8, perda de R$ 24,09 milhões em valor presente que amplia a vantagem da SBN para R$ 40,47 milhões. O segundo trata do risco residual sobre as 111 residências que permanecem na primeira linha na alternativa híbrida: aplicadas as reduções adicionais de 5,52%, 6,00% e 8,16% derivadas da elasticidade de Daniel et al. (2009), como perdas de capital em 2030, 2040 e 2050 sobre o estoque de R$ 88,04 milhões, tem-se externalidade de R$ 5,72 milhões em valor presente, e vantagem da SBN de R$ 22,10 milhões. Essa estimativa deve ser lida como limite superior, dado que a intervenção híbrida, predominantemente cinza, protege o estoque exposto.

Tabela 58 - Testes de sensibilidade dos custos socioeconômicos na Praia da Armação (R$ milhões, VP)

Teste	Intervenção híbrida	Alternativa SBN	Vantagem da SBN	Índice B/C
Cenário central	**126,98**	**110,60**	**16,38**	**1,15**
Opex da SBN escalonado como o da híbrida	126,98	111,61	15,37	1,14
Opex da híbrida sem escalonamento	124,55	110,60	13,95	1,13
Aquisição sem o desconto pretérito de 20%	126,98	130,89	-3,91	0,97
Desconto pretérito de 10%	126,98	120,74	6,23	1,05
Preço de R$ 8.170/m² (três dormitórios)	126,98	103,12	23,86	1,23
Preço de R$ 9.500/m² (média da praia)	126,98	115,11	11,87	1,10

Preço de R$ 12.355/m² (média municipal)	126,98	140,85	-13,87	0,90
Sem redutor de área construída	126,98	119,62	7,36	1,06
Redutor de área construída de 20%	126,98	101,58	25,39	1,25
Custo da híbrida proporcional a 830 m de 1.600 m	65,87	110,60	-44,73	0,60
Capex da híbrida –25%	95,23	110,60	-15,37	0,86
Capex da híbrida +25%	158,72	110,60	48,12	1,44
Fator de conversão da híbrida de 0,947	126,02	110,60	15,42	1,14
Opex da híbrida de 1% a.a.	115,39	110,60	4,79	1,04
Opex da híbrida de 3% a.a.	138,57	110,60	27,97	1,25
Opex da híbrida de 5% a.a.	161,75	110,60	51,15	1,46
Reconstr. parcial da híbrida (25% Capex ano 15)	135,48	110,60	24,88	1,22
Terraplenagem de 0,2 m	126,98	108,14	18,84	1,17
Areia a R$ 51,85/m³ (sem mobilização de draga)	126,98	110,14	16,84	1,15
Areia a R$ 45,03/m³ (preço contratado, -17,5%)	126,98	109,00	17,98	1,16
Capex da SBN (exceto aquisição e M9) -25%	126,98	107,71	19,27	1,18
Capex da SBN (exceto aquisição e M9) +25%	126,98	113,49	13,49	1,12
Opex da SBN pelo critério por m² (Copacabana)	126,98	108,08	18,90	1,17
Sem ciclos de reengorda na SBN	126,98	109,51	17,46	1,16
Reengorda de 80% a cada 10 anos na SBN	126,98	111,69	15,29	1,14
Faixa da híbrida com vida útil de 5 anos	151,07	110,60	40,47	1,37
Exte. de risco residual sobre o estoque protegido	132,70	110,60	22,10	1,20
Combinado inferior	126,98	168,70	-41,72	0,75
Combinado superior	159,57	105,85	53,72	1,51

No cenário combinado inferior, que considera o valor unitário médio municipal e a ausência de desconto pretérito na aquisição, a hierarquia se inverte: a híbrida predominantemente cinza, custaria R$ 126,98 milhões, contra R$ 168,70 milhões da SBN (índice benefício-custo de 0,75). No cenário combinado superior, que reúne terraplenagem de 0,2 m, Opex do cordão pelo critério por m², reconstrução parcial da híbrida no ano 15 e vida útil de cinco anos da faixa por ela restituída, a vantagem da SBN alcança R$ 53,72 milhões (índice benefício-custo de 1,51).

Os testes indicam que, diferentemente dos demais casos do Eixo 2, o resultado da Armação é mais sensível a premissas isoladas. A vantagem da alternativa natural é robusta a todas as premissas de custo da própria SBN e às de custeio da híbrida, mas pode ser revertida pela desconsideração do desconto pretérito na aquisição, por valores unitários acima de R$ 10,8 mil/m², por um Capex da híbrida cerca de 13% inferior ao adotado e, sobretudo, pela proporcionalização de seu custo à extensão analisada. Em sentido

oposto, a monetização das assimetrias de sustentação da faixa e de risco residual, ambas desfavoráveis à híbrida, amplia a vantagem da SBN de forma expressiva.

7.5. Leitura sob o Triplo Dividendo da Resiliência

Sob o referencial do Triplo Dividendo da Resiliência (Heubaum et al., 2022; Brandon et al., 2025), o caso da Armação do Pântano do Sul apresenta a comparação entre duas intervenções completas, de modo que os dividendos comuns se anulam e o que resta visível é a diferença de natureza entre elas.

O primeiro dividendo, correspondente às perdas evitadas, não foi objeto de estimativa autônoma, uma vez que ambas as alternativas foram convencionalmente tratadas como entregas equivalentes de proteção, sem que se pressuponha identidade hidrodinâmica entre elas. A materialidade daquilo que se pretende evitar está, contudo, documentada: em maio de 2010, a sucessão de ciclones extratropicais suprimiu integralmente a faixa de areia, danificou 74 residências e destruiu cerca de trinta delas. Em termos de risco residual ao longo de trinta anos, no entanto, as duas trajetórias não são equivalentes, e a diferença favorece a retração planejada por reduzir os ativos expostos.

O segundo dividendo, que trata dos benefícios econômicos induzidos, é uma camada de grande magnitude, mas que por ser comum às duas alternativas, não integra a comparação incremental. A restituição da faixa de areia utilizável gera benefício anual de R$ 4,28 milhões e valor presente de R$ 35,07 milhões, montante que supera em mais de duas vezes a própria diferença de custo entre as alternativas. A valorização do estoque imobiliário da retaguarda, estimada de forma complementar, apresenta potencial de R$ 24,78 milhões, e confirma que o benefício em amenidades é significativo. O elemento diferencial entre as alternativas é quanto a probabilidade de sustentação do benefício, haja vista que a evidência local de perda sedimentar em praias alargadas do município e de falha da resposta rígida no próprio trecho indica que a alternativa natural tem maior probabilidade de manter esse dividendo ao longo do horizonte de análise.

Já o terceiro dividendo, que reúne os cobenefícios socioambientais, é exclusivo da alternativa natural e permanece integralmente não monetizado. Habitat e conectividade ecológica, qualidade paisagística, recursos genéticos e suporte ao ciclo de vida de espécies migratórias não têm correspondência na solução de engenharia, que acrescenta praia não vegetada e novas estruturas rígidas ao sistema. A não monetização torna o resultado conservador em relação à alternativa natural, e seu registro qualitativo permite compreender que a diferença entre as trajetórias não se esgota nos R$ 16,38 milhões apurados.

Conclusões

No caso da Armação do Pântano do Sul, ambas as alternativas comparadas prometem controle de erosão e restituição de faixa de areia hoje inexistente. A diferença de custos econômicos entre elas é estreita, sendo que a alternativa de retração urbana planejada custa R$ 110,60 milhões em valor social presente, contra R$ 126,98 milhões da intervenção de engenharia híbrida. Lida apenas por esse indicador, a vantagem é modesta e sensível às premissas, sobretudo ao valor unitário do estoque residencial e à estimativa

institucional adotada para a alternativa convencional (item 7.4.3). O caso, porém, não se resolve pelo indicador agregado, pois três diferenças qualitativas separam as trajetórias.

A primeira é a natureza do custo, dado que cerca de três quartos da alternativa de SBN correspondem ao valor de uso preterido de um estoque já depreciado pelo risco materializado. A contrapartida financeira desse custo é patrimônio adquirido dos proprietários, e não consumo de insumos. Nota-se que os insumos produzidos e consumidos pela SBN equivalem a apenas 23,2% dos da alternativa híbrida predominantemente cinza, por metro linear dos 830 metros analisados. A segunda é a dependência sedimentar, dado que a SBN mobiliza, por metro linear, menos da metade do volume de areia da alternativa híbrida, em um estado onde as taxas de transporte longitudinal são comparáveis ao próprio volume aportado pelas obras e onde a evidência técnica e empírica de reversão de aterros hidráulicos é consistente. A terceira é a condição de contorno, pois a intervenção híbrida mantém as edificações da primeira linha expostas atrás de uma defesa cuja versão anterior já falhou no mesmo local, enquanto a retração planejada reduz definitivamente a exposição, tornando-se mais consistente com as estratégias de resiliência climática. Os testes de sensibilidade indicam, contudo, que a vantagem econômica pode ser revertida por premissas isoladas relativas tanto ao custo e à extensão da intervenção híbrida, como ao valor do estoque adquirido, o que reforça a importância das diferenças qualitativas aqui descritas.

Cabe reconhecer, não obstante, que a alternativa natural impõe um custo não valorado decorrente do deslocamento involuntário de 111 domicílios em um bairro de núcleo pesqueiro histórico. O que a análise econômica permite afirmar é que a dificuldade na escolha não se soma a um custo maior, e sim a um custo menor, a um consumo de recursos substancialmente inferior, a uma dependência sedimentar reduzida e a um conjunto de cobenefícios socioambientais que a engenharia não reproduz.

8. Considerações finais

Objetivo e natureza do estudo

O presente estudo teve como objetivo trazer um olhar econômico para as Soluções baseadas na Natureza (SBN) voltadas à proteção costeira em contraste com as infraestruturas cinzas, aplicando a lógica da Análise Socioeconômica de Custo-Benefício a intervenções de proteção costeira em cidades do litoral brasileiro. A lente adotada é deliberadamente econômica, e não financeira: não se mediu a rentabilidade das intervenções sob a ótica de quem as executa, mas o balanço entre custos a preços sociais, benefícios e externalidades para o conjunto da sociedade. Nesse plano, a pergunta relevante para a decisão pública não é quanto custa uma obra, mas quanto custa garantir estabilidade de praia, proteção da retaguarda urbana e manutenção das funções que a orla oferece, e qual trajetória o faz com menor custo social (item 1.2).

Os resultados devem ser lidos à luz da natureza do exercício, que traz uma avaliação em nível de pré-viabilidade, estruturada em unidades autossuficientes de análise, na qual as alternativas comparadas foram tratadas como funcionalmente orientadas ao mesmo propósito de proteção, sem que se tenha aferido, por modelagem de agitação marítima, galgamento ou evolução da linha de costa, sua equivalência de desempenho hidrodinâmico (item 1.3). Tampouco se avaliou a eficácia das SBN em si, que depende de condições locais não investigadas. Por essas razões, e porque parcela relevante dos cobenefícios permaneceu sem monetização, os valores apresentados devem ser interpretados predominantemente como estimativas prudentes, próximas de limites inferiores do valor econômico da infraestrutura natural.

Configuração dos casos e seus recortes

Os seis estudos de caso foram organizados em dois eixos que respondem a perguntas complementares. O Eixo 1, de natureza retrospectiva (ex-post), pergunta quanto já custou à sociedade perder a infraestrutura natural, ou não dispor dela: em Salinópolis (PA), pela supressão do manguezal; em Natal (RN), pela perda do sistema praia-duna da Ponta Negra; e em Paulista (PE), pelo contraste entre a Praia de Janga, desprovida de proteção recifal, e a vizinha Pau Amarelo. O Eixo 2, de natureza prospectiva (ex-ante), pergunta quanto custa recuperar essa infraestrutura em comparação às respostas de engenharia, em três graus crescentes de profundidade da intervenção: a restauração ecológica sobre faixa de areia disponível em Copacabana (RJ), a remoção de infraestrutura pública para recriação de habitat na Ponta da Praia, em Santos (SP), e a retração urbana planejada de propriedades privadas na Armação do Pântano do Sul, em Florianópolis (SC).

A opção por casos concretos, em detrimento de estimativas médias, responde ao fato de que o valor econômico de um ecossistema costeiro depende do contexto local que conforma a exposição ao risco, que apresenta uma determinada densidade de ativos protegidos, oferece alternativas de engenharia e embute um dado espaço existente para acomodação natural. Os recortes, portanto, não são acessórios, mas sim determinantes para a pergunta econômica que se aborda em cada caso e, como se discute adiante, condicionam a própria magnitude e robustez dos resultados. Os casos funcionam,

assim, em dupla escala: como unidades de análise em si, e como referências de ordem de grandeza que podem informar decisões em outras localidades, desde que ajustadas às condições locais.

Cabe um alerta quanto à comparabilidade entre os casos. No Eixo 1, os valores correspondem a somas a preços constantes de 2025 ao longo de horizontes retrospectivos distintos (30 anos em Salinópolis, 15 em Natal e 28 em Paulista), sem capitalização intertemporal; no Eixo 2, correspondem a valores presentes descontados à taxa social de 8,5% ao ano em horizonte de 30 anos. Os resultados, portanto, não devem ser somados nem ordenados entre si como se fossem grandezas homogêneas, e sua leitura conjunta deve privilegiar a lógica e a direção dos achados, e não a comparação direta de montantes.

Lógica econômica e síntese dos resultados

Em todos os casos, a lógica econômica preponderante é a mesma: o benefício da infraestrutura natural se manifesta como custo evitado. Esse custo evitado, contudo, aparece em lugares distintos da contabilidade social, e é justamente sua localização que determina o que decide cada caso. No Eixo 1, os custos evitados são os danos, prejuízos e dispêndios públicos que se materializaram pela ausência do ecossistema, bem como o custo de reposição de sua função por obras de engenharia. No Eixo 2, são o investimento e o custeio da alternativa convencional e, em dois dos casos, externalidades que recaem sobre a economia da praia e sobre o patrimônio exposto. A Tabela 59 sintetiza os seis casos.

Tabela 59 - Síntese dos estudos de caso

Caso	Pergunta econômica	Resultado central	Fator determinante	Robustez
Salinópolis (PA) - manguezal	Quanto custou a supressão do manguezal?	R$ 76,20 mi em 30 anos (R$ 57,67 mi em perdas por inundação e R$ 18,53 mi em cobenefícios); R$ 59,24 mil/ha/ano de proteção	Caracterização da ameaça (frequência e lâmina dos eventos)	Existência de valor robusta; magnitude sensível à ameaça, com premissas centrais no extremo conservador
Natal (RN) - praia e dunas	Quanto custou a perda do sistema praia-duna?	R$ 266,97 mi em 15 anos (R$ 1,27 mi/ha/ano), dos quais R$ 145,30 mi em dispêndios públicos	Frações de redução do gasto turístico e base de visitantes	Robusta: piso documental de gasto público; cenário mais restritivo próximo de R$ 100 mi
Paulista (PE) - recifes	Quanto vale a proteção recifal?	R$ 664,32 mi em 28 anos, dos quais R$ 348,69 mi no primeiro dividendo	Cobenefícios transferidos (valores de não uso)	Robusta no primeiro dividendo; cenário mais restritivo supera R$ 330 mi
Copacabana (RJ) - restauração	Cordão arenoso vegetado ou mureta e enrocamento?	SBN a 38,0% do custo da cinza (R$ 3,36 mi contra R$ 8,85 mi); desamenidade de R$ 136,65 mi	Custos diretos; externalidade amplia a vantagem	Robusta: hierarquia mantida em todos os testes

Santos (SP) - remoção de infraestrutura pública	Manter a estrutura rígida ou renaturalizar a orla?	SBN a 58,6% do custo do cenário base; índice B/C de 1,71	Externalidade de risco sobre o patrimônio exposto	Condicionada à externalidade; revertida apenas por combinação de premissas desfavoráveis
Florianópolis (SC) - retração urbana	Retração planejada ou engenharia híbrida predominantemente cinza?	SBN a 87,1% do custo da híbrida; índice B/C de 1,15	Custo estimado da híbrida e preço do estoque adquirido	Sensível: premissas isoladas podem reverter a hierarquia

Em Salinópolis, a ocupação progressiva da planície de maré substituiu um ecossistema adaptado à inundação por residências e ativos expostos às suas dinâmicas. As perdas estimadas, de R$ 57,67 milhões em trinta anos, recaíram majoritariamente sobre o patrimônio de famílias em situação de alta vulnerabilidade, e somam-se a R$ 18,53 milhões em serviços de provisão pesqueira, regulação hídrica e estoque de carbono que deixaram de ser prestados. Os testes de sensibilidade indicam que a principal incerteza reside na caracterização da ameaça, e não nos parâmetros econômicos, e que as premissas centrais se situam no extremo conservador da frequência sugerida pela classificação de risco alto.

Em Natal, a urbanização sobre o pós-praia e a perda das dunas transferiram à infraestrutura urbana as funções de dissipação de energia e de retenção sedimentar antes desempenhadas pelo sistema natural. O resultado foi um ciclo de reconstrução, contenção e engorda que mobilizou R$ 145,30 milhões em recursos públicos entre 2012 e 2025, somados a perdas turísticas que elevam o total a R$ 266,97 milhões em quinze anos. Os dispêndios públicos constituem um piso documental robusto, e mesmo no cenário mais restritivo as perdas se aproximam de R$ 100 milhões.

Em Paulista, o contraste entre praias vizinhas revela o valor da proteção recifal pelo que sua ausência custou: R$ 278,54 milhões em espigões, quebra-mares, paredões e dissipadores na Praia de Janga, somados a R$ 70,15 milhões em danos e prejuízos que se materializaram apesar dessas obras. Com os cobenefícios recifais, o valor alcança R$ 664,32 milhões em 28 anos. O primeiro dividendo é o componente mais robusto do caso, e mesmo o cenário mais restritivo, que limita os cobenefícios aos serviços de uso direto e indireto, supera R$ 330 milhões.

Em Copacabana, a reconstituição de um cordão arenoso vegetado protege o trecho sul da praia por 38,0% do custo social de uma defesa de mureta e enrocamento, vantagem que decorre sobretudo do menor investimento inicial, ainda que o custeio da SBN seja superior ao da estrutura rígida. Ao se incorporar a desamenidade imposta pela obra rígida à economia da praia, a diferença passa a ser de ordem de grandeza. A hierarquia entre as alternativas se mantém em todos os testes de sensibilidade realizados, isolados ou combinados.

Em Santos, a comparação se dá entre a continuidade de uma estrutura rígida cujo custeio cresce com a recorrência das ressacas e sua substituição por praia vegetada. Considerados apenas os custos diretos, as duas trajetórias praticamente se igualam; é a incorporação do desconto imobiliário associado à intensificação do risco de galgamento que converte o resultado em vantagem para a SBN, com índice benefício-custo de 1,71.

Essa vantagem se mantém em todos os testes univariados que preservam a externalidade, e somente é revertida pela combinação simultânea de premissas desfavoráveis à alternativa natural.

Em Florianópolis, a retração planejada da primeira linha de ocupação e a reconstrução do sistema praial custam 87,1% do custo da intervenção híbrida predominantemente cinza, com índice benefício-custo de 1,15. Cerca de três quartos do custo da SBN correspondem ao valor de uso preterido de um estoque já depreciado pelo risco materializado, e não ao consumo de insumos. Trata-se, contudo, do único caso em que premissas isoladas, notadamente o custo estimado da alternativa híbrida e o valor unitário do estoque adquirido, podem reverter a hierarquia, o que torna a decisão dependente de orçamento executivo atualizado.

As SBN diante das respostas costumeiras

Tomados em conjunto, os casos permitem situar as SBN costeiras frente às três formas predominantes de resposta à erosão e às inundações no litoral brasileiro: a reativa, que repara o dano após cada evento; a cinza, que fixa a linha de costa com estruturas rígidas; e a híbrida, que combina alimentação artificial de praia com obras de contenção. Quatro achados transversais emergem dessa leitura.

O primeiro é que a resposta reativa não é gratuita, mas cumulativa e crescente. Os históricos reconstruídos em Natal, Paulista e Santos mostram ciclos de dano, reparo e novo dano, nos quais as estruturas implantadas se tornam, elas próprias, objeto de colapso e reconstrução. Em Santos, 76% dos dispêndios identificados desde 1999 concentram-se na última década. A aparente ausência de custo de capital na continuidade da estratégia atual oculta um custeio que tende a se intensificar com a elevação do nível do mar e com a recorrência de ressacas.

O segundo é uma assimetria estrutural de visibilidade. O custo da alternativa cinza é orçado, contratado e auditável, enquanto o valor da alternativa natural permanece invisível justamente porque é entregue sem contrapartida financeira e gera benefícios difusos. Os casos do Eixo 1 tornam essa assimetria concreta: os serviços prestados pelos manguezais, pelas dunas e pelos recifes só se tornam contabilizáveis quando deixam de existir, e passam então a figurar como dano, prejuízo ou obra de reposição.

O terceiro é que o custo da alternativa convencional tende a estar subestimado nas comparações usuais. Os parâmetros de manutenção adotados para as estruturas rígidas não incorporam episódios de falha estrutural, cuja materialidade o caso de Paulista documenta, e a alimentação artificial de praias apresenta, em Santa Catarina, histórico documentado de reversão do volume aportado. Além disso, estruturas rígidas fixam a linha de costa e aprofundam o *coastal squeeze*, criando uma trajetória de dependência que restringe as opções futuras de adaptação.

O quarto achado, e talvez o mais relevante para a decisão pública, é que a principal restrição das SBN costeiras não é o custo de implantá-las, mas o espaço de que necessitam para operar. A razão entre o custo socioeconômico da SBN e o da alternativa convencional cresce à medida que esse espaço se torna mais contestado: 38,0% em Copacabana, onde a faixa de areia está disponível; 58,6% em Santos, onde é preciso remover infraestrutura pública; e 87,1% em Florianópolis, onde é preciso adquirir e demolir propriedades

privadas. Na mesma medida, a vantagem se torna mais dependente de premissas específicas. As SBN são, portanto, tanto mais vantajosas quanto mais cedo são adotadas, antes que a ocupação consolide a primeira linha e encareça o espaço de acomodação.

Esses achados não autorizam apresentar natureza e engenharia como objetivos opostos, dado que as estruturas rígidas oferecem maior previsibilidade de desempenho sob eventos extremos e menor dependência de capacidade institucional continuada, e há contextos em que permanecem necessárias. Todavia, os casos demonstram que a comparação entre alternativas só é justa quando realizada pelo ciclo de vida completo, com custos a preços sociais, manutenção efetivamente contabilizada, riscos de falha e externalidades, e não apenas pelo investimento inicial.

Adaptação climática e o valor futuro da natureza

A crescente necessidade de adaptação climática confere aos resultados um sentido prospectivo, mesmo naqueles de natureza retrospectiva. Os valores do Eixo 1 devem ser lidos como pisos: foram estimados sobre condições climáticas pretéritas e sobre a exposição já existente, e dois vetores tendem a ampliá-los, quais sejam, o adensamento e a valorização dos ativos em áreas expostas, e o agravamento dos perigos costeiros em contexto de elevação do nível relativo do mar e de alteração nos regimes de ondas, ressacas e precipitação extrema. À medida que esses vetores se materializam, a proteção oferecida pelos ecossistemas costeiros tende a adquirir valor econômico ainda mais elevado.

No Eixo 2, as projeções de elevação do nível médio do mar adotadas para as estações de Cananéia e Imbituba indicam que, nas próximas décadas, a trajetória de elevação praticamente independe dos esforços globais de redução de emissões, o que a torna uma premissa de planejamento, e não um cenário incerto. A elevação do nível de base faz com que cotas de inundação hoje associadas a eventos raros passem a ser alcançadas por eventos progressivamente mais ordinários, pressionando justamente as estruturas rígidas, cuja capacidade de acomodação é nula. As SBN, por sua vez, admitem migração e reconstituição a partir de sua própria reserva sedimentar, desde que disponham de espaço para tal.

Daí decorre o sentido de urgência que os casos permitem inferir. A retração planejada, quando concebida de forma preventiva, evita o duplo trauma de sofrer o desastre e depois ser removido de forma reativa; a conservação dos ecossistemas remanescentes evita que seu valor só se revele pela perda. Cabe registrar, ainda, que as convenções usuais da análise, notadamente um horizonte definido pela vida útil das obras de engenharia e uma taxa de desconto que penaliza alternativas de custo inicial elevado, tendem a subestimar alternativas cujos benefícios são permanentes, como a retração e a restauração (Cross et al., 2025).

Dificuldades, vantagens e caminhos

O estudo permite inferir um conjunto de dificuldades que condicionam a adoção das SBN costeiras em escala. A primeira é informacional: os dispêndios municipais com erosão costeira raramente são registrados de forma desagregada, inexistem curvas locais de dano e séries sistemáticas de ressacas, e parte dos custos de obras de engenharia só pôde ser obtida a partir de estimativas veiculadas publicamente. A segunda é

técnica: nenhuma das alternativas teve seu desempenho aferido por modelagem específica, e a permanência dos volumes sedimentares repostos constitui incerteza relevante. A terceira é institucional, pois as SBN demandam manutenção continuada, monitoramento e comunicação com os usuários, o que exige capacidade de gestão de longo prazo. A quarta é social e distributiva, pois a retração impõe custos não monetizados de deslocamento e de perda de vínculos territoriais. A quinta é financeira: a viabilidade socioeconômica não se traduz em viabilidade financeira, o que caracteriza essas intervenções como projetos cujo financiamento recai predominantemente sobre o setor público.

Em contrapartida, as vantagens também se mostram consistentes entre os casos: menor investimento inicial quando há espaço disponível; menor dependência de aportes sedimentares; capacidade de adaptação à elevação do nível do mar; reversibilidade relativa das intervenções; redução definitiva da exposição, no caso da retração; e um conjunto de cobenefícios de biodiversidade, paisagem, recreação e carbono que a engenharia não reproduz e que se mostram significativos. Esses cobenefícios, cabe reforçar, permaneceram em larga medida não monetizados nos casos do Eixo 2, o que torna os resultados conservadores em relação às alternativas naturais.

Os caminhos que os resultados sugerem são, em grande medida, a superação dessas dificuldades: a precedência de modelagem hidrodinâmica específica às decisões de investimento; o registro sistemático e territorializado dos dispêndios públicos com erosão costeira e resposta a ressacas, sem o qual o custo da inação permanece subestimado; a avaliação das alternativas pelo ciclo de vida completo, e não pelo investimento inicial; e a integração do valor dos serviços ecossistêmicos costeiros aos instrumentos de política ambiental já existentes.

Mensagens-chave

- A natureza já presta serviços de proteção costeira de alto valor econômico, que só se tornam visíveis quando se perdem e passam a figurar como dano, prejuízo ou obra de reposição.
- Quando há espaço disponível, restaurar a infraestrutura natural custa uma fração da engenharia convencional; em Copacabana, 38,0% do custo social de uma defesa rígida.
- A inação não é gratuita: a resposta reativa acumula custos crescentes, que tendem a se intensificar com a elevação do nível do mar.
- A principal restrição das SBN é o espaço, e não o dinheiro: quanto mais consolidada a ocupação da orla, mais cara e mais sensível se torna a alternativa natural, o que torna decisivo agir antes.
- A comparação justa entre natureza e engenharia exige olhar o ciclo de vida completo, com manutenção, falhas, riscos e externalidades, e não apenas o custo de obra.
- Os resultados são, em sua maioria, estimativas prudentes: os cobenefícios socioambientais não foram integralmente monetizados, e o agravamento climático tende a ampliar o valor da proteção natural.

Referências bibliográficas

Abreu, E. A. P.; Silva, A. G.; Silva Júnior, G. G. (2008). Aplicação do método do custo de viagem para a Praia da Avenida em Maceió. Anais do 46º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER). Rio Branco: SOBER.

ADB - Asian Development Bank. (2013). Cost-benefit analysis for development: A practical guide. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank.

Amaro, V. E.; Carvalho, R. C.; Matos, M. F. A.; Ingunza, M. D. P. D.; Scudelari, A. C. (2021). Avaliação da suscetibilidade do solo à erosão nas falésias do litoral oriental do estado do Rio Grande do Norte. Revista Brasileira de Geomorfologia v. 22, nº 1 https://doi.org/10.20502/rbg.v22i1.1887.

Amorim, E. S.; Alves, G. C.; Silva, R. G. P.; Sampaio, G. M.; Dantas, P. H.; Teles, J. V. A.; Lafayette, K. P. V.; Bezerra, J. S. (2023). Análise da viabilidade técnica-econômica das estruturas de contenção à erosão costeira. Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management 23, no. 2: 179–191. https://doi.org/10.5894/rgci-n553.

Araújo, M. V. P.; Freitas, H. B. B.; Gomes, J. S.; Brito, M. I. M. (2016). O turismo potiguar que chegou a perder 100 mil desembarques!. Rev. Bras. Pesq. Tur. São Paulo, 10(3), pp. 594-614, set./dez. 2016.

Atreya, A.; Czajkowski, J. (2019). Graduated flood risks and property prices in Galveston County. Real Estate Economics 47 (3): 807–844. https://doi.org/10.1111/1540-6229.12163.

Barbier, E. B. (2016). The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods. Marine Pollution Bulletin 109:676-681. 10.1016/j.marpolbul.2016.01.033

Barry, S. C.; Reynolds, L. K.; Braswell, A. E.; Gittman, R. K.; Scyphers, S. B.; Smyth, A. R. (2024). Discounting nature: Perceived effectiveness drives suboptimal shoreline decision-making for Florida's waterfront property owners. https://ssrn.com/abstract=4782047.

BCB - Banco Central do Brasil. (2024). Relatório de estabilidade financeira. Banco Central do Brasil - BCB. V. 23, N. 2. Brasília-DF.

Beltrán Hernandez, A.; Maddison, D.; Elliott, R. J. R. (2018). Is flood risk capitalised into property values? ecological economics 146: 668–685.

Beltrán Hernandez, A.; Maddison, D.; Elliott, R. J. R. (2019). The impact of flooding on property prices: A repeat-sales approach. Journal of Environmental Economics and Management 95: 62–86. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2019.02.006.

Benedet, L.; List, J. H. (2008). Evaluation of the physical process controlling beach changes adjacent to nearshore dredge pits. Coastal Engineering, 55(12), 1224-1236.

Bernardino, A. F.; Mazzuco, A. C. A.; Costa, R. F.; Souza, F.; Owuor, M. A.; Nóbrega, G. N.; Sanders, C. J.; Ferreira, T. O.; Kauffman, J. B. (2024). The inclusion of Amazon mangroves in Brazil's REDD+ program. Nature Communications 15: 1549. https://doi.org/10.1038/s41467-024-45459-w.

Bernstein, A.; Gustafson, M. T.; Lewis, R. (2019). Disaster on the horizon: The price effect of sea level rise. Journal of Financial Economics 134 (2): 253–272. https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.03.013.

Biovert Florestal e Agrícola Ltda. (2026). Projeto executivo para revitalização das dunas Ipanema/Leblon. Rio de Janeiro: Biovert Florestal e Agrícola, abril de 2026. Elaborado para a Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro.

Boardman, A. E.; Greenberg, D. H.; Vining, A. R.; Weimer, D. L. (2018). Cost-benefit analysis: Concepts and practice. 5th edition. Cambridge University Press, Cambridge.

Braga, R. da C.; Pimentel, M. A. da S.; Coelho, C.; Szlafsztein, C. F.; Rollnic, M. (2019). Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil. Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 19, n. 4, p. 245–264.

Brandon, C.; Kratzer, B.; Aggarwal, A.; Heubaum, H. (2025). Strengthening the investment case for climate adaptation: A triple dividend approach. Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute. https://doi.org/10.46830/wriwp.25.00019.

Brasil, Ministério da Economia. (2022a). Guia geral de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de investimento em infraestrutura (Guia ACB). Ministério da Economia, BRASIL. Versão 3, Brasília-DF.

Brasil, Ministério da Economia. (2022b). Manual de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de infraestrutura hídrica. Ministério da Economia, BRASIL. Versão 1, Brasília-DF.

Brasil, Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. (2026). Atlas digital de desastres no Brasil. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional, em cooperação técnica entre o Banco Mundial e a Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. https://atlasdigital.mdr.gov.br/paginas/index.xhtml.

Brasil, Ministério do Meio Ambiente. (2018a). Projeto SMC-Brasil. Recuperação de praias. Documento temático. Panorama da Erosão Costeira no Brasil. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Brasília-DF.

Brasil, Ministério do Meio Ambiente. (2018b). Panorama da erosão costeira no Brasil. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, Departamento de Gestão Territorial. Muehe, Dieter (Org.). Brasília, DF. 759 p. Brasília.

Brasil; GIZ (2022). Riscos climáticos - Anexo do guia geral de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de investimento em infraestrutura. Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI), Ministério da Economia; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH. Versão 1. Brasília-DF.

Brasil; IPEA. (2022). Catálogo de parâmetros - Anexo do guia geral de análise socioeconômica de custo-benefício de projetos de investimento em infraestrutura. Secretaria de Desenvolvimento da Infraestrutura (SDI), Ministério da Economia; Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Versão 1. Brasília-DF.

Brasil; IPT. (2007). Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília, DF: Celso Santos Carvalho, Eduardo Soares de Macedo e Agostinho Tadashi Ogura. Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. São Paulo, SP.

Brasil. (1988). Lei nº 7.661, de 16 de maio de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 maio 1988.

Brasil. (2004). Decreto nº 5.300, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei nº 7.661/1988, dispõe sobre regras de uso da zona costeira e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 dez. 2004.

Brucal, A.; Lynham, J. (2021). Coastal armoring and sinking property values: the case of seawalls in California. Environmental Economics and Policy Studies, v. 23, p. 55–77, https://doi.org/10.1007/s10018-020-00278-3.

Caldeira, M. C. O.; Caldeira, C. R. T.; Victorino, H. da S.; Barros, D. R. (2023). Simulação de área suscetível à inundação em região costeira empregando dados fotogramétricos. In Anais do XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 3059–62. https://proceedings.science/p/164846?lang=pt-br.

Câmara, T. C. F. F. (2023). Processo erosivo e defesas costeiras das praias de Ponta Negra e Via Costeira, Natal/RN: Uma análise estrutural e ambiental. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

Campos, R. M.; Camargo, R. de; Harari, J. (2010). Caracterização de eventos extremos do nível do mar em Santos e sua correspondência com as reanálises do modelo do NCEP no Sudoeste do Atlântico Sul. Revista Brasileira de Meteorologia 25, no. 2 175–184.

Carvalho, A. B. (2022). O Brasil do mar e da costa: Uma abordagem econômica. In: Santos T, Beirão AP, Araújo Filho MC, Carvalho AB (eds) Economia Azul: Vetor para o desenvolvimento do Brasil. Essential Idea Editora, São Paulo, pp 587-658.

Carvalho, K. M.; Junior, W. C. G.; de Miranda, F. M. P. S.; Carvalho, G. T.; Cypriano, J. O. P.; da Costa, G. T. S.; da Silva, A. C.; Fernandes, D.; Castro, J. W. A. (2026). Erosão costeira nas praias de Copacabana-Leme, zona sul da cidade do Rio de Janeiro. Geociências 45: 97-106.

Castro, J. W. A.; Junior, W. C. G.; Fernandes, D.; Cabral, C. L.; da Costa, G. T. S.; de Miranda, F. M. P. S.; Junior, S. B. L. (2025). Impacts of climate change on coastal erosion and marine flooding in Rio de Janeiro city, Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 165, 105680.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. (2026). Orçamentação de Soluções Baseadas na Natureza no SINAPI: custos e referências. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, Brasília-DF.

Chamas, C. C.; Scheibe, L. F. (2009). Causal chain analysis of a coastal island as a tool for sustainable and autonomous resource management. Journal of Coastal Research, (56), 1189.

Chang, E. K. M. (2017). Projected significant increase in the number of extreme extratropical cyclones in the Southern Hemisphere. Journal of Climate 30, no. 13, 4915–4935.

CI - Conservation International. (2024). Coastal green-gray infrastructure analysis tool. Autocase Economic Advisory, Conservation International, versão 1.3, abr/2024. link. https://www.conservation.org/projects/global-green-gray-community-of-practice.

City Climate Finance Gap Fund. (2023). Guia metodológico para estabelecimento de modelos de negócios para parques lineares e fluviais e para quantificação dos benefícios ambientais, econômicos e sociais de SBN existentes nessas áreas. City Climate Finance Gap Fund & Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), com apoio técnico de Guajava / Aquaflora / Kralingen. Rio de Janeiro; Campinas. 1ª ed.

Costa, T. S. (2024). Os impactos das mudanças climáticas nas áreas de inundações em Salinópolis - PA. Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente... Campina Grande: Realize Editora.

Coyle, J. M.; Dethier, M. N. (2015). Appendix C. Review of Shoreline Armoring Literature. California Coastal Commission. Improved Valuation of Impacts to Recreation, Public Access, and Beach Ecology from Shoreline Armoring. Sacramento: California Coastal Commission, 2015.

CPRM/DEGET - Serviço Geológico do Brasil, Departamento de Gestão Territorial. (2016). Ação emergencial para reconhecimento de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa e enchentes, Salinópolis - Pará. Relatório Técnico. Serviço Geológico do Brasil - CPRM /Departamento de Gestão Territorial - DEGET / Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral / Ministério de Minas e Energia.

Cross, B.; Doberstein, B.; Lueck, V. (2025). Improving Economic Assessment and Decision-Making for Managed Retreat through CBA+: A Targeted Literature Review. Frontiers in Climate 7: 1481824. https://doi.org/10.3389/fclim.2025.1481824

Dalbosco, A. L. P.; Barletta, R. do C.; Franco, D. (2019). Relação entre as variações da linha de costa e as características morfodinâmicas da praia da Armação, Ilha de Santa Catarina. Geociências 38, n. 1 241–256. https://doi.org/10.5016/geociencias.v38i1.12585.

Daniel, V. E.; Florax, R. J. G. M.; Rietveld, P. (2009). Flooding risk and housing values: An economic assessment of environmental hazard. Ecological Economics 69 (2): 355–365.

Davis, M. K.; Naumann, S. (2017). Making the case for sustainable urban drainage systems as a nature-based solution to urban flooding. In: KABISCH, N. et al. (eds.). Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56091-5_8.

Droste, N.; Schröter-Schlaack, C.; Hansjürgens, B.; Zimmermann, H. (2017). Implementing Nature-Based Solutions in urban areas: Financing and governance aspects. In: KABISCH, N. et al. (eds.). Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas. Springer, Cham. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-56091-5_18.

EC - European Commission. (2014). Guide to cost-benefit analysis of investment projects: Economic appraisal tool for cohesion policy 2014-2020. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

EC - European Commission. (2019). Ex post evaluation of major projects supported by the European regional development fund and cohesion fund between 2000 and 2013. Brussels: Publications Office of the European Union.

EEA - European Environment Agency; EC - European Commission. (2025). Restoring coastal dunes. Climate-ADAPT: European Climate Adaptation Platform. Atualizado em 29 de maio de 2025. https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/adaptation-options/dune-construction-and-strengthening.

El-Robrini, M.; Silva, M. A. M. A.; Souza Filho, P. W. M.; Silva Júnior, O. G.; França, C. F. (2006). Erosão e progradação no Pará. In: Muehe, D (org.), Ministério do Meio Ambiente, Brasília, Brasil. ISBN 85-7738-028-9. http://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/80-gestao-costeira-g-erosao-e-progradacao.html.

Endendijk, T.; Botzen, W. J. W.; de Moel, H.; Slager, K.; Kok, M.; Aerts, J. C. J. H. (2024). Enhancing resilience: Understanding the impact of flood hazard and vulnerability on business interruption and losses', Water Resources and Economics, vol. 46, 100244, pp. 1-20. https://doi.org/10.1016/j.wre.2024.100244.

EPA-USA - United States Environmental Protection Agency. (2022). Supplemental proposal to reduce methane and other harmful pollution from oil and natural gas operations. Environmental Protection Agency. Washington, DC: EPA. https://www.epa.gov/system/files/documents/2022-12/supplemental-proposal-ria-oil-and-gas-nsps-eg-climate-review-updated.pdf.

EPA-USA - United States Environmental Protection Agency. (2023). Report on the social cost of greenhouse gases: Estimates incorporating recent scientific advances. EPA-HQ-OAR-2021-0317. Washington, DC: EPA, Office of Air and Radiation.

Ergin, A.; Karaesmen, E.; Güler, H. G. (2018). Coastal Scenic Evaluation System (CSES): User's manual. Code version V1-2018, manual version 1.0. Ankara: Middle East Technical University.

Ergin, A.; Karaesmen, E.; Micallef, A.; Williams, A. T. (2004). A new methodology for evaluating coastal scenery: fuzzy logic systems. Area, v. 36, n. 4, p. 367–386, 2004. https://doi.org/10.1111/j.0004-0894.00238.x.

Fecomércio-RN; Emprotur - Empresa Potiguar de Promoção Turística. (2021). Perfil do turista do Rio Grande do Norte 2021. Natal: Fecomércio-RN.

Fecomércio-RN; Emprotur - Empresa Potiguar de Promoção Turística. (2022–2025). SÍRIO - Sistema de Inteligência Turística do Rio Grande do Norte: Painéis de perfil do turista potiguar. Natal: Sistema Fecomércio-RN e Emprotur. https://sirio.tur.br.

Fergel, J. R.; Isdell, R. E.; DiPetto, G.; Nunez, K.; Gregory; S. T; Hill, E.; Bilkovic, D. M. (2026). The shoreline protection potential of oyster reefs: a systematic review and meta-analysis. Nature-Based Solutions. V. 9, 100304, ISSN 2772-4115. https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2026.100304.

Fernández-Montblanc, T.; Duo, E.; Ciavola, P. (2020). Dune reconstruction and revegetation as a potential measure to decrease coastal erosion and flooding under extreme storm conditions. Ocean & Coastal Management, Article: 105075, Volume 188.

Frohlich, M. F.; Smith, T. F.; Fidelman, P.; Baldwin, C.; Jacobson, C.; Carter, R. W. (2021). Legal barriers to adaptive coastal management at a coastal erosion hotspot in Florianópolis, Brazil. Marine Policy 127 104436. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104436.

Garcia, P.; Gireli, T.; Kawai Venancio, K. (2018). Projeto piloto para monitoramento e contenção da erosão da Ponta da Praia - Santos (SP). XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Buenos Aires, Argentina.

Garrison, N.; Hobbs, K. (2011). Rooftops to rivers II: Green strategies for controlling stormwater and combined sewer overflows. Natural Resources Defense Council, Nova York.

Gasparinetti, P.; Jeric-Daminello, C.; Seehusen, S. E. (2018). Os valores dos serviços ecossistêmicos dos manguezais brasileiros, instrumentos econômicos para a sua conservação e o estudo de caso do Salgado Paraense. Documento de Trabalho. Brasília: Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e Fundo Brasileiro para a Biodiversidade (FUNBIO).

Gehrels, H.; van der Meulen, S.; Schasfoort, F.; Bosch, P.; Brolsma, R.; van Dinther, D.; Geerling, G. J.; Goossens, M.; Jacobs, C. M. J. et al. (2016). Designing green and blue infrastructure to support healthy urban living. Wageningen Universiteit. TO2 Federatie. https://publicaties.ecn.nl/PdfFetch.aspx?nr=ECN-O--16-029

Gopalakrishnan, S.; Smith, M. D.; Slott, J. M.; Murray, A. B. (2011). The value of disappearing beaches: A hedonic pricing model with endogenous beach width. Journal of Environmental Economics and Management 61 (3): 297–310. https://doi.org/10.1016/j.jeem.2010.09.003.

Governo do Estado de Pernambuco. (2010). Lei nº 14.258, de 23 de dezembro de 2010. Institui a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro, e dá outras providências. Recife.

Gramcianinov, C. B.; Staneva, J.; de Camargo, R. et al. (2023). Changes in extreme wave events in the southwestern South Atlantic Ocean. Ocean Dynamics 73, 663–678 https://doi.org/10.1007/s10236-023-01575-7.

Hammond, M.; Djordjevic, S.; Butler, D.; Chen, A. (2014). Flood impact assessment literature review. CORFU – Collaborative Research on Flood Resilience in Urban Areas. Work Package 3 (WP3), Deliverable D3.1, Revisão 2. University of Exeter, Reino Unido.

Heubaum, H.; Brandon, C.; Tanner, T.; Surminski, S.; Roezer, V. (2022). The triple dividend of building climate resilience: Taking stock, moving forward. Working Paper. Washington, DC: World Resources Institute. https://doi.org/10.46830/wriwp.21.00154.

Hino, M.; Field, C. B.; Mach, K. J. (2017). Managed Retreat as a Response to Natural Hazard Risk. Nature Climate Change 7 (5): 364–70. https://doi.org/10.1038/nclimate3252.

HM Treasury. (2020). The Green Book: Central Government Guidance on Appraisal and Evaluation. Londres: HM Treasury.

Horsch, E.; Phaneuf, D.; Giguere, C.; Murray, J.; Duff, C.; Kroninger, C. (2023). Discounting in natural resource damage assessment. Journal of Benefit-Cost Analysis. 14(1):141-161. https://doi.org/10.1017/bca.2022.24.

Hudson, T.; Keating, K.; Pettit, A. (2015). Cost estimation for coastal protection: Summary of evidence. Report SC080039/R7. Bristol: Environment Agency.

Huizinga, J.; De Moel, H.; Szewczyk, W. (2017). Global flood depth-damage functions: Methodology and the database with guidelines, EUR 28552 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-79-67781-6, https://doi.org/10.2760/16510, JRC105688.

IAT - Instituto Água e Terra. (2021). Recuperação da Orla de Matinhos: planilha orçamentária de referência (Anexo IV do Edital de Concorrência nº 02/2021). Curitiba: Instituto Água e Terra, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável do Paraná, 2021. Protocolo nº 17.700.542-8; processo nº 49/ (Compras Paraná). https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Recuperacao-da-Orla-de-Matinhos.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. (2021). Manual para projetos de recuperação da vegetação nativa. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília-DF.

IGCI - International Global Change Institute. (2013). Costs: Coastal restoration and other common protection options. Coastal Restoration — Dune Management. Hamilton, Nova Zelândia: University of Waikato. https://www.igci.org.nz/dunes/costs.

IPBES - Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. (2022). Summary for policymakers of the methodological assessment regarding the diverse conceptualization of multiple values of nature and its benefits. IPBES Secretariat, Bonn.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press.

Joe, R. J.; Pitchaimani, V. S.; Mirra, T. N. S.; Karuppannan, S. (2025). Shoreline dynamics and anthropogenic influences on coastal erosion: A multi-temporal analysis for sustainable shoreline management along a southwest coastal district of India. Environmental and Sustainability Indicators, 27, 100744.

King, P. G.; McGregor, A.; Whittet, J. D. (2016). Can California coastal managers plan for sea-level rise in a cost-effective way?, Journal of Environmental Planning and Management, 59:1, 98-119, https://doi.org/10.1080/09640568.2014.985291.

Klein, A. H. F.; Prado, M. F. V.; Dalinghaus, C.; Camargo, J. M. (2016). Metodologia para quantificação de perigos costeiros e projeção de linhas de costa futuras como subsídio para estudos de adaptação das zonas costeiras: litoral norte da Ilha de Santa Catarina e entorno. Ministério do Meio Ambiente e Universidade Federal de Santa Catarina.

Kloss, C.; Calarusse, C. (2006). Rooftops to rivers: Green strategies for controlling stormwater and combined sewer overflows. Natural Resources Defense Council (NRDC), Nova York. https://www.nrdc.org/sites/default/files/rooftopstoriversII-update.pdf

Landry, C. E.; Hindsley, P. (2011). Valuing beach quality with hedonic property models. Land Economics 87 (1): 92–108. https://doi.org/10.3368/le.87.1.92.

Leal, K. B.; Bonetti, J.; Pereira, P. de S. (2020). Influência da orientação de praia na retração da linha de costa induzida por marés de tempestade. Revista Brasileira de Geografia Física 13, n. 4 1730–1755. https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1730-1755.

Lisboa, W. T. (2020). Marcas territoriais da multiculturalidade em Santos/SP: Imigrantes portugueses e espanhóis no século 19. Revista Prâksis, 1, 137-155.

Madrugada Neto, J. D. (2022). Avaliação dos efeitos dos processos erosivos e de intervenções antrópicas na linha de costa do município de Paulista, Pernambuco. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.

Mallette, A.; Smith, T. F.; Elrick-Barr, C.; Blythe, J.; Plummer, R. (2021). Understanding preferences for coastal climate change adaptation: a systematic literature review. Sustainability, v. 13, n. 15, 8594, https://doi.org/10.3390/su13158594.

Mallmann, D. L. B. (2016). Análise de risco à erosão costeira de curto termo para o litoral central de Pernambuco. Tese, Universidade Federal de Pernambuco.

Mallmann, D. L. B.; Araújo, T. C. M.; Droguett, E. L. (2014). Caracterização do litoral central de Pernambuco (Brasil) quanto ao processo erosivo em curto e médio-termo. Quaternary and Environmental Geosciences 5, no. 2; 137-154.

MapBiomas. (s.d.). Coleção 10 de Cobertura e Uso da Terra, múltiplos acessos entre junho e agosto de 2026. https://brasil.mapbiomas.org.

MapBiomas. (s.d.). Coleção 7 da série zona costeira do Brasil de mapas de cobertura e uso da terra, acessado em 04/02/2026. https://brasil.mapbiomas.org.

Martins, K. A. (2015). Vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas através de indicadores em Pernambuco. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.

Martins, K. A. (2020). Serviços ecossistêmicos de ambientes recifais costeiros do litoral de Pernambuco. Tese de doutorado em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

Matos, M. F. A.; Amaro, V. E.; Scudelari, A. C.; Rosado, S. B. (2022). Estimativas das alterações de longo prazo na linha de praia do litoral oriental do rio grande do Norte. Revista Brasileira de Geomorfologia 23 (1): 1039–1052. https://doi.org/10.20502/rbg.v23i1.1953.

Maziviero, M. C. (2016). Between the recovery of historical heritage and the housing issue: urban renewal projects to downtown Santos. URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 8, 181-196.

Medeiros, E. C. S. (2017). Percepção ambiental da erosão costeira: Acompanhamento do antes, durante e depois da implantação de obras emergenciais no litoral do Nordeste do Brasil. Tese de doutorado, Universidade Federal do Ceará.

Mentaschi, L.; Vousdoukas, M. I.; Voukouvalas, E.; Dosio, A.; Feyen, L. (2017). Global changes of extreme coastal wave energy fluxes triggered by intensified teleconnection patterns, Geophys. Res. Lett., 44, 2416–2426, https://doi.org/10.1002/2016GL072488.

Moraes, C. A. R. (2007). Contribuição para a gestão da zona costeira do Brasil: Elementos para uma geografia do litoral brasileiro. Annablume, São Paulo.

Muehe, D.; Nicolodi, J. (2008). Geomorfologia. In: MMA (Org), Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil, pp.23-40, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília, Brasil. ISBN 978-85-7738-112-8.

Narayan, S.; Beck, M. W.; Reguero, B. G.; Losada, I. J.; van Wesenbeeck, B.; Pontee, N.; et al. (2016). The Effectiveness, Costs and Coastal Protection Benefits of Natural and Nature-Based Defences. PLoS ONE 11(5): e0154735. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154735.

Nicholls, R. J.; Lincke, D.; Hinkel, J.; Pol, T. van der. (2017). Global investment costs for coastal defence through the 21st century. Fifth GGKP Annual Conference on Sustainable Infrastructure.

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration, Office for Coastal Management. (2020). Nature-Based Solutions installation and maintenance costs. Quick Reference. Charleston, SC: NOAA Digital Coast. https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/nature-based-solutions-installation-maintenance.pdf.

Noosa Shire Council. (2020). Noosa coastal hazards adaptation plan: Cost benefit analysis of coastal erosion options. Final Report. Melbourne: Aither.

Oliveira, E. C. de. (2017). Erosão costeira na Ponta da Praia, Santos-SP, e as modificações antrópicas nos sistemas marinho e estuarino da região. In Rede BRASPOR, cap. 13, 236–246. Rede BRASPOR.

Oliveira, T. C. R.; Scherer, M. E. G.; Anfuso, G.; Almeida, F. B.; Diederichsen, S. D.; Williams, A. (2016). Classificação dos cenários costeiros de praias da Ilha de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 39, p. 217–229, https://doi.org/10.5380/dma.v39i0.46171.

Olsen, A. et al. (2015). Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments. Water 2015, 7, 255-270; https://doi.org/10.3390/w7010255.

Omori, Y. (2021). Preference heterogeneity of coastal gray, green, and hybrid infrastructure against sea-level rise: a choice experiment application in Japan. Sustainability, v. 13, n. 16, 8927, https://doi.org/10.3390/su13168927.

Ortega, F.; Taşpınar, S. (2018). Rising sea levels and sinking property values: Hurricane Sandy and New York's housing market. Journal of Urban Economics 106: 81–100. https://doi.org/10.1016/j.jue.2018.06.005.

Ozment, S.; Ellison, G.; Jongman, B. (2019). Nature-Based Solutions for disaster risk management. Washington, D.C. World Bank Group.

Pardal, A.; Christofoletti, R. A.; Martinez, A. S. (2024). Urbanisation on the coastline of the most populous and developed state of Brazil: The extent of coastal hardening and occupations in low-elevation zones. Anthropocene Coasts: Special Collection Coastal Hazard Risk in the Anthropocene 7:15.

Parsons, G. R.; Powell, M. (2001). Measuring the cost of beach retreat. Coastal Management 29 (2): 91–103.

Pérez Martinez, J. D. (2025). Os efeitos dos manguezais e das intervenções humanas na dinâmica sedimentar das praias de Salinópolis, PA. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém.

Pompe, J. J.; Rinehart, J. R. (1994). Estimating the effect of wider beaches on coastal housing prices. Ocean & Coastal Management 22 (2): 141–152. https://doi.org/10.1016/0964-5691(94)90016-7.

Pontee, N. (2023). Understanding the benefits and limitations of coastal NbS. Coastal Engineering Proceedings, 69.

Prefeitura do Município de Angra dos Reis. (2021a). Anexo II — projeto básico: Construção de canal em enrocamento de pedra na orla da Monsuaba. Processo nº 2021021174. Angra dos Reis: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade, 31 de agosto de 2021.

Prefeitura do Município de Angra dos Reis. (2021b). Anexo IV — planilha orçamentária: Construção de canal em enrocamento de pedra na orla da Monsuaba. Processo nº 2021021174. Angra dos Reis: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade, setembro de 2021.

Prefeitura do Município de Florianópolis, Secretaria Municipal de Obras. (2011). Projeto básico para a recuperação da Praia da Armação do Pântano do Sul. Florianópolis: Prefeitura Municipal de Florianópolis. https://portal.pmf.sc.gov.br/arquivos/arquivos/pdf/09_11_2012_18.33.54.0b3163b25d9401fd545d7aad6089d8aa.pdf.

Prefeitura do Município de Natal, Secretaria Municipal de Obras Públicas e Infraestrutura; Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. (2019). Processo erosivo na Praia de Ponta Negra: ações emergenciais de reconstrução, 2012–2019. Apresentação técnica. Natal: Prefeitura Municipal do Natal.

Prefeitura do Município de Santos. (2016). PMMCS. Plano Municipal de Mudanças do Clima de Santos. Santos: Prefeitura Municipal de Santos.

Prefeitura do Município de Santos. (2017). Decreto que estabelece critérios de caracterização de ressaca (Processo Administrativo 34171/2017-72). Santos.

Prefeitura do Município do Rio de Janeiro, Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico, Inovação e Simplificação. (2022). Economia das praias do rio. Estudo Especial nº 04/2022. Rio de Janeiro: SUBDEI/SMDEIS.

Pye, K.; Blott, S. J.; Guthrie, G. (2017). Advice on options for sand dune management for flood and coastal defence. Volume 1: Main Report. NRW Evidence Report No. 207. Bangor: Natural Resources Wales.

Rangel-Buitrago, N.; Ben-Haddad, M. (2024). A 20-year review of the coastal scenery evaluation system, Ocean & Coastal Management, Volume 257, 107341. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2024.107341.

Raymond, C. M. et al. (2017). A framework for assessing and implementing the co-benefits of Nature-Based Solutions in urban areas. Environmental Science & Policy, 77: 15–24. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008.

Reid, J.; Santana, G. G.; Klein, A. H. da F.; Diehl, F. L. (2024). Perceived and realized social and economic impacts of sand nourishment at Piçarras Beach, Santa Catarina, Brazil. Shore & Beach, v. 92, n. 3, p. 14.

Rey-Pérez, J. (2010). O passeio de Copacabana como patrimônio e paisagem cultural. Revista UFG, ano XII, n. 8, p. 106–116.

Rickels, W.; Meier, F.; Quaas, M. (2023). The historical social cost of fossil and industrial CO2 emissions. Nat. Clim. Chang. 13, 742–747 https://doi.org/10.1038/s41558-023-01709-1.

Rodrigues, G. G. D. S.; Toledo, P. von Z. de; Arriagada, C. A. H. (2021). Estratégias de adaptação frente a ressacas marítimas provenientes de mudanças climáticas: O caso de Ponta da Praia, cidade de Santos - SP. Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes, [S. l., v. 9, n. 24, https://doi.org/10.17271/2317860492420212945.

Ruiz, M. S.; Harari, J.; Ribeiro, R. B.; Sampaio, A. F. P. (2021). Numerical modelling of storm tides in the estuarine system of Santos, são vicente and bertioga (SP, Brazil). Regional Studies in Marine Science 44:101791.

S2iD - Sistema Integrado de Informações sobre Desastres. (s.d.). Base Histórica de registros entre 1999 e 2025. Brasília: Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. https://s2id.mi.gov.br/.

Saengsupavanich, C.; Rif'atin, H. Q.; Magdalena, I.; Ariffin, E. H. (2024). A systematic review of jetty-induced downdrift coastal erosion management. Regional Studies in Marine Science, 74, 103523.

Sanitwong-Na-Ayutthaya, S.; Saengsupavanich, C.; Ariffin, E. H.; Ratananoo, P.; Weesakul, S. (2023). Environmental impacts of shore revetment. Heliyon, v. 9, n. 9, e19685, 2023. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.e19685.

Santos, T. P. dos; Duarte, M. M. (2026). Técnicas de restauração de dunas costeiras e restingas degradadas por Pinus elliottii Eng., no sul do Brasil. Revista REGEO 17, no. 3 e1784.

Scudelari, A. C.; Neves, C. F.; Amaro, V. E.; Santos, O. F. (2016). Ponta Negra beach, Natal, Brazil: A roll and rock story. Journal of Coastal Research 75: 815–819. https://doi.org/10.2112/SI75-164.1.

Seabra, D. M. da S.; Neto, R. da M. S.; Menezes, T. A. de. (2016). Amenidades urbanas e valor das residências: Uma análise empírica para a cidade do Recife. Economia Aplicada 20 (1): 143–169. https://doi.org/10.11606/1413-8050/ea147474.

Siders, A. R. (2019). Managed Retreat in the United States. One Earth 1 (2): 216–25. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.09.008.

Silva, I. R.; Filho, J. R. de S.; Barbosa, M. A. L.; Rebouças, F.; Machado, R. A. S. (2009). Diagnóstico ambiental e avaliação da capacidade de suporte das praias do bairro de Itapoã, Salvador, Bahia. Sociedade & Natureza 21, n. 1 71–84. https://doi.org/10.1590/s1982-45132009000100005.

Silva, R.; Martínez, M. L.; Odériz, I.; Mendoza, E.; Feagin, R. A. (2016). Response of vegetated dune-beach systems to storm conditions. Coastal Engineering 109: 53–62.

Stein, L. P.; Siegle, E. (2020). Overtopping events on seawall-backed beaches: Santos Bay, SP, Brazil. Regional Studies in Marine Science 40:101492.

Suanez, S.; Cariolet, J.-M.; Cancouët, R.; Ardhuin, F.; Delacourt, C. (2012). Dune recovery after storm erosion on a high-energy beach: Vougot Beach, Brittany (France). Geomorphology, 139-140:16-33.

Tol, R. S. J. (2023). Social cost of carbon estimates have increased over time. Nature Climate Change, 13(6),532-536. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01680-x.

Tomasi, T.; Cooper, R. W.; Anning, D. (2025). On the discount rate in environmental damage cases. Environmental Claims Journal. 37(1):1-30. https://doi.org/10.1080/10406026.2024.2440574.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. (2023). Nota Técnica nº 06/PES/2023, de 23 de outubro de 2023: dragagens e aterros em praias arenosas. Programa de Pesquisa e Extensão Ecoando Sustentabilidade. Florianópolis: UFSC, https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/251681/NT_23_10_23_AterroPraias_assinado.pdf.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. (2025). Nota Técnica nº 05/PES/2025: os aterros de praia em Santa Catarina. Programa de Pesquisa e Extensão Ecoando Sustentabilidade. Florianópolis: UFSC, https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/265096/AlargamentoPraia2025_assinado.pdf.

UNEP - United Nations Environment Programme. (2022). Nature-based solutions for supporting sustainable development: Resolution / adopted by the United Nations Environment Assembly (UNEP/EA.5/RES.5). Nairobi: United Nations. https://digitallibrary.un.org/record/3999268?ln=en

UNESCO. (2012). Rio de Janeiro: Carioca landscapes between the mountain and the sea. World Heritage List, property 1100rev. Paris: UNESCO World Heritage Centre.

USACE-USA - U.S. Army Corps of Engineers. (1995). Design of coastal revetments, seawalls, and bulkheads. Engineer Manual EM 1110-2-1614. Washington, DC: Department of the Army, U.S. Army Corps of Engineers.

USACE-USA - U.S. Army Corps of Engineers. (2009). Economic guidance memorandum 09-04: Generic depth-damage relationships for vehicles. Washington, DC: U.S. Army Corps of Engineers, Directorate of Civil Works, 22 jun.

Vanz, A.; Rodrigues, M. L. G. (2012). A erosão costeira na Praia da Armação do Pântano do Sul, no litoral catarinense. Agropecuária Catarinense 25, n. 1 43–46. https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/rac/article/download/633/535.

Venancio, K. K.; Garcia, P. D.; Gireli, T. Z.; Corrêa, T. B. (2020). Hydrodynamic modeling with scenario approach in the evaluation of dredging impacts on coastal erosion in Santos (Brazil). Ocean & Coastal Management 195:105227.

Vianna, L. F.; Araújo, C. S.; Vanz, A. (2022). Erosão de praias e ressacas na Ilha de Santa Catarina: causas, histórico recente e possibilidades de ação. Agropecuária Catarinense 35, n. 1 8–12. https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/RAC/article/download/1277/1287.

WB - World Bank. (2021). A catalogue of Nature-Based Solutions for urban resilience. Washington, DC: World Bank.

WB - World Bank. (2026). A catalogue of Nature-Based Solutions for coastal resilience. Washington, DC: World Bank.

Williams, A. T.; Micallef, A. (2009). Beach management: Principles and practice. London: Earthscan.

Williams, A. T.; Micallef, A.; Anfuso, G.; Gallego-Fernandez, J. B. (2012). Andalusia, Spain: An assessment of coastal scenery, landscape research, 37:3, 327-349. https://doi.org/10.1080/01426397.2011.590586.

Wishart, M.; Wong, T.; Furmage, B.; Liao, X.; Pannell, D.; Wang, J. (2021). Valuing the benefits of Nature-Based Solutions: A manual for integrated urban flood management in China. World Bank, Washington, DC.