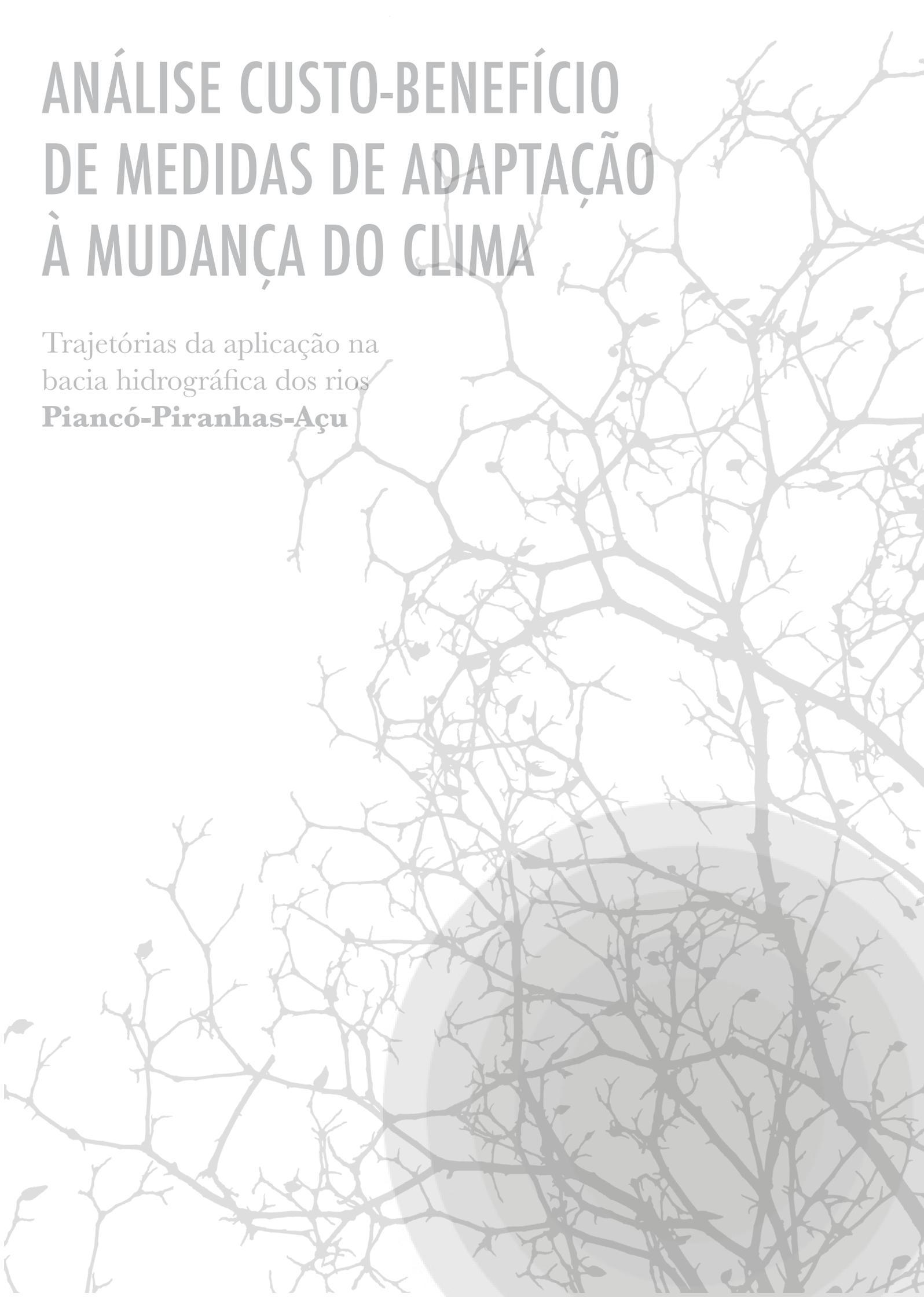


ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA

Trajetórias da aplicação na
bacia hidrográfica dos rios
Piencó-Piranhas-Açu

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA

Trajetórias da aplicação na
bacia hidrográfica dos rios
Piencó-Piranhas-Açu





República Federativa do Brasil

Michel Temer
Presidente da República

Ministério do Meio Ambiente (MMA)

Edson Duarte
Ministro

Agência Nacional de Águas (ANA)

Diretoria Colegiada

Christianne Dias Ferreira (Diretora-Presidente)
Ney Maranhão
Ricardo Medeiros de Andrade
Oscar de Moraes Cordeiro Netto
Marcelo Cruz

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

FGV EAESP Centro de Estudos em Sustentabilidade

Coordenação Geral

Mario Prestes Monzoni Netto

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO À MUDANÇA DO CLIMA

Trajetórias da aplicação na
bacia hidrográfica dos rios
Piencó-Piranhas-Açu

© 2018, Agência Nacional de Águas – ANA.
Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3,
Blocos B, L, M e T.
CEP: 70610-200, Brasília – DF.
PABX: (61) 2109-5400 | (61) 2109-5252
Endereço eletrônico: www.ana.gov.br

COMITÊ DE EDITORAÇÃO

DIRETOR

Ricardo Medeiros de Andrade

SUPERINTENDENTES

Humberto Cardoso Gonçalves
Joaquim Guedes Correa Gondim Filho
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

SECRETÁRIO EXECUTIVO

Rogério de Abreu Menescal

EQUIPE EDITORIAL

SUPERVISÃO EDITORIAL

Guarany Ipê do Sol Osório
Carlos Alberto Perdigão Pessoa
Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

ELABORAÇÃO DOS ORIGINAIS

Agência Nacional de Águas (ANA)
Fundação Getúlio Vargas (FGV)

DIAGRAMAÇÃO E CAPA

Layla Nunes Lambiasi

FOTOGRAFIA

Daniel Tha. Fotos retiradas na Bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu, no período entre 8 e 14 de dezembro de 2016.

PRODUÇÃO

Fundação Getúlio Vargas (FGV)

Informações, críticas, sugestões,
correções de dados: cedoc@ana.gov.br
Disponível também em: <http://www.ana.gov.br>
Tiragem: 1.000 exemplares

Todos os direitos reservados
É permitida a reprodução de dados
e de informações contidos nesta publicação,
desde que citada a fonte.

Biblioteca Karl A. Boedecker da Fundação Getulio Vargas - SP

Escola de Administração de Empresas de São Paulo. Centro de Estudos em Sustentabilidade.

Análise de custo-benefício de medidas de adaptação à mudança do clima [recurso eletrônico] : trajetórias da aplicação na bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu / Escola de Administração de Empresas de São Paulo. Centro de Estudos em Sustentabilidade, Agência Nacional das Águas. – Brasília : ANA ; São Paulo : FGVces, 2018.

134 p.

ISBN: 978-85-94017-10-9

1. Mudanças climáticas. 2. Recursos hídricos – Fatores climáticos. 3. Bacias hidrográficas – Paraíba. 4. Bacias hidrográficas – Rio Grande do Norte. 5. Custo-benefício. I. Fundação Getulio Vargas. II. Agência Nacional das Águas. VI. Título.

CDU 551.58



FGVces – CENTRO DE ESTUDOS EM SUSTENTABILIDADE DA ESCOLA DE ADMINISTRAÇÃO DE EMPRESAS DE SÃO PAULO DA FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS

www.fgv.br/ces

COORDENAÇÃO GERAL FGVces

Mario Prestes Monzoni Neto

AUTORES

Alexandre Gross

Layla Nunes Lambiasi

Daniel Tha

Gustavo Velloso Breviglieri

Inaiê Takaes Santos

Guarany Ipê do Sol Osório

Guilherme Borba Lefèvre

Guido Couto Penido Guimarães

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao corpo técnico da Agência Nacional de Águas pelas valiosas contribuições durante a elaboração deste estudo, especialmente à equipe da Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos e da Gerência Geral de Estratégia.

Agradecemos também aos integrantes do comitê da bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu e aos moradores da região pelas valiosas contribuições.

SOBRE O FGVces

O Centro de Estudos em Sustentabilidade (FGVces) da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (FGV EAESP) é um espaço aberto de estudo, aprendizado, reflexão, inovação e de produção de conhecimento, composto por pessoas de formação multidisciplinar, engajadas e comprometidas, e com genuína vontade de transformar a sociedade. O FGVces trabalha no desenvolvimento de estratégias, políticas e ferramentas de gestão pública e empresarial para a sustentabilidade, no âmbito local, nacional e internacionais. Seus programas são orientados por quatro linhas de atuação: (i) formação; (ii) pesquisa e produção de conhecimento; (iii) articulação e intercâmbio; e (iv) mobilização e comunicação. www.fgv.br/ces

CITAR COMO

FGVces e ANA. Análise de custo-benefício de medidas de adaptação à mudança do clima: trajetórias da aplicação na bacia hidrográfica dos rios Piancó-Piranhas-Açu. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas e Agência Nacional de Águas. São Paulo e Brasília. 2018.

Estudo elaborado em 2016/2017/2018.
Publicado em 2018.



RESUMO EXECUTIVO

As recentes crises hídricas no país, bem como os resultados de experiência anterior com Análise Custo-Benefício (ACB) na bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) (GVCES, 2014) expuseram a pertinência de mecanismos e ferramentas que auxiliassem a ação para a adaptação. Com a mudança do clima, eventos de escassez devem se agravar e estressar ainda mais sistemas já considerados vulneráveis, gerando danos sociais e econômicos.

Assim, a Agência Nacional de Águas (ANA) considerou relevante replicar e aprimorar a ACB em outra bacia nacional. Nesse contexto, a bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu surge como região de interesse por se localizar no núcleo do semiárido setentrional – onde suas características se fazem máximas – e emergir como um dos perímetros de grande fragilidade frente aos agravantes impostos pela mudança do clima.

Uma Análise Custo-Benefício pretende explorar, de maneira comparativa, o virtual desempenho de diferentes alternativas a partir de um ponto de vista econômico, auxiliando o processo de tomada de decisão. Para tanto, no caso em questão, concentra-se em quantificar os custos e benefícios associados à implantação de diferentes medidas de adaptação. Estas consistem em intervenções de diferentes naturezas, desde física à regulatória, como grandes reservatórios ou ajustes na tarifa de água.

Nesse sentido, o presente estudo se propôs a quantificar o valor econômico total sob risco nos próximos 50 anos e avaliar em que proporção potenciais medidas de adaptação seriam eficientes ao abater a perda esperada. Além disso, foi também calculado o custo da atual crise hídrica que acomete a região desde 2012.



O estudo considerou um horizonte temporal de 2016 a 2065, abordando o setor de recursos hídricos e os potenciais impactos da mudança do clima nos padrões de alocação de água. Primeiramente, é efetuado o cálculo do Risco Físico, resultante do uso e da disponibilidade de água. A passagem para perdas econômicas, o Risco Climático Total, se dá por meio de métodos de valoração econômica, que relacionam a escassez de água com o nível de produção de cada setor usuário.

Os resultados mostraram que o déficit hídrico na região poderá ser, em 50 anos, até 133% maior, quando em comparação ao cenário que não considera os potenciais efeitos da mudança do clima. A perda econômica, trazida a Valor Presente Líquido (VPL), pode alcançar 7,8 bilhões de reais.

Para a avaliação de medidas de adaptação tais valores foram recalculados considerando a influência estimada de cada uma. Das 18 medidas testadas, 8 se revelaram custo-benéficas em todos os cenários, 5 podem ser boas alternativas a depender do contexto, e outras 5 apresentaram custos superiores aos benefícios calculados.

Na sequência, foram simulados grupos de medidas agindo de forma integrada para avaliar potenciais efeitos sinérgicos. O déficit hídrico máximo abatido por uma medida de adaptação implementada de forma isolada foi de 53%, correspondendo a um abatimento da perda econômica de no máximo 40%. Por outro lado, quando consideradas várias medidas em conjunto, o déficit máximo abatido subiu para 73%, e o abatimento da perda econômica foi de 93%.

Adicionalmente, partindo da mesma metodologia aplicada anteriormente, o custo da crise atual foi estimado em mais de R\$ 3 bilhões no período entre julho de 2012 e julho de 2017, valor equivalente a 3,07% do PIB da bacia. Os custos de nenhuma das medidas de adaptação consideradas, quando em

operação por 50 anos, superam o que já foi perdido com a crise atual.

Foram identificadas, além de medidas prioritárias, algumas características e fragilidades gerais em relação à gestão das águas na bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu, entre elas:

- Apenas reservatórios estrategicamente pensados podem agir sobre a fragilidade hídrica da bacia;
- Os maiores benefícios absolutos são gerados pelo aporte de água na bacia;
- No futuro, é possível que sejam necessárias ações programadas de contingência, além de modificações fundamentais nos padrões de uso da água;
- O meio rural demanda estratégias integradas;
- A gestão de desastres representa opção ainda mais custosa;
- Há grande potencial sinérgico entre as medidas propostas e,
- A gestão da incerteza é imperativa para o planejamento em recursos hídricos no contexto da mudança do clima.

Além desses direcionamentos, os resultados da ACB se apresentam como dados concretos a servirem de subsídio para o planejamento hídrico local, de forma que serão incorporados, a partir de recomendações objetivas, no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica, principal mecanismo de gestão para a região nesse âmbito.

SUMÁRIO

1	ABORDAGEM ESTRATÉGICA: ACB COMO FERRAMENTA DE GESTÃO CLIMÁTICA	11
	Mudança do clima e risco climático: conceitos e definições	14
	Ação em adaptação: gestão do risco climático e tomada de decisão	17
	O que é a gestão do risco climático	17
	Tomada de decisão e incerteza	18
	Risco prioritário e medidas de adaptação	21
	A ACB como método para a priorização de medidas de adaptação	22
	A Análise Custo-Benefício (ACB)	23
	Principais passos de uma ACB aplicada à resiliência climática	25
2	ABORDAGEM CONCEITUAL E PRÁTICA: ACB COM FOCO EM RECURSOS HÍDRICOS	28
	Gestão do risco climático no setor de recursos hídricos	29
	Setor de recursos hídricos e resiliência	30
	Risco de escassez hídrica	30
	Análise de Custo-Benefício em bacia hidrográfica	31
	Framework conceitual para aplicação da Análise Custo-Benefício em recursos hídricos	32
3	ESTUDO DE APLICAÇÃO DA ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO EM BACIA HIDROGRÁFICA	37
	O semiárido brasileiro e a bacia de interesse	39
	Aspectos climáticos, hidrológicos e estruturais da bacia	42
	Contexto local e histórico da questão hídrica na bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu	42
	O eixo perenizado	43
	Aspectos socioeconômicos e perfil das atividades produtivas	43
4	ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU	47
	Etapas da ACB: aplicando conceitos no sistema hidrológico escolhido	49
	Etapa 1 - Caracterização do Risco Físico	50
	Projeções socioeconômicas e demandas hídricas futuras	50
	Cenários climáticos de vazão futura	51
	Alocação hídrica e cenários finais de Risco Físico	54
	Etapa 2 - Cálculo do risco climático total	56

Estimando perdas econômicas: método função de produção	57
Etapa 3 - Avaliando medidas de adaptação	60
Medidas de adaptação na bacia do Piancó-Piranhas-Açu	60
Como comparar medidas em uma análise custo-benefício	61
Medidas de adaptação selecionadas para a ACB	68
Resultados da Análise Custo-Benefício	80
Discussão e conclusões preliminares	83
5 CÁLCULO DO CUSTO DA CRISE ATUAL	88
Estimação de perdas econômicas associadas a crises hídricas passadas	90
Cenário de linha de base	91
Projeção de demandas hídricas por setor usuário	92
Resultados: perdas econômicas da crise atual (2012-2017)	93
6 APROFUNDAMENTO DOS RESULTADOS DA ACB: ANÁLISE DE INDICADORES	99
Esferas de Avaliação	102
Detalhamento dos indicadores	103
7 APROFUNDAMENTO DOS RESULTADOS DA ACB: GRUPOS DE MEDIDAS E SEUS EFEITOS SINÉRGICOS	110
Critérios e estratégias de agrupamento de medidas	112
Detalhamento dos grupos de medidas propostos	113
Resultados e discussão	115
8 DIRECIONAMENTOS FINAIS DA ACB PARA O PLANEJAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA DOS RIOS PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU	117
Direcionamentos finais da ACB para o planejamento da bacia	120
Grupo de medidas ideal e necessário	120
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	127

1

ABORDAGEM ESTRATÉGICA: ACB COMO FERRAMENTA DE GESTÃO CLIMÁTICA





De acordo com o IPCC, as MC correspondem a “mudanças no estado do clima que podem ser identificadas (por meio de testes estatísticos, por exemplo) por alterações na média e/ou na variabilidade de suas propriedades e que persistem por um extenso período, tipicamente décadas ou intervalos maiores de tempo” (IPCC, 2014).

Os desafios contemporâneos, em seus diferentes âmbitos – social, econômico, político, entre outros – perpassam um aspecto comum, o clima. A variabilidade climática, que se agrava em função da **mudança do clima (MC)**, testa os sistemas humanos revelando suas fragilidades frente a um futuro cada vez mais incerto. Cada aspecto de vulnerabilidade da sociedade se faz agora mais urgente, sendo necessário o entendimento tanto das variáveis de clima, quanto da socioeconomia, que condicionam as potenciais respostas desses sistemas.

A interferência humana no ciclo natural terrestre anteriormente observado já pode ser estatisticamente afirmada, bem como seus impactos nos sistemas existentes.

Dentro desse contexto, problemas urgentes da atualidade ecoam decisões tomadas décadas atrás, de maneira que a capacidade de lidar com as crescentes flutuações de clima dependerá do planejamento e gestão apropriada, no presente, dos recursos disponíveis, humanos e naturais, para o futuro próximo.

A mudança do clima pode ser entendida como uma mudança “atribuída direta ou indiretamente à atividade humana que altera a composição da atmosfera e se acrescenta à variabilidade climática natural observada ao longo de períodos de tempo comparáveis” (UNFCCC, 1992).

2018, teve o objetivo de avaliar e gerir o risco imposto pela mudança do clima na bacia hidrográfica dos **rios Piancó-Piranhas-Açu**, localizada no sertão do Brasil, entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte. Os resultados dessa aplicação visaram oferecer suporte aos processos de tomada de decisão do governo local,

Dentre os sistemas afetados, o setor de recursos hídricos se destaca pela abrangência de sua influência e pelos possíveis danos associados ao seu colapso. Sendo a água essencial para a manutenção de fatores sociais e econômicos, sua escassez configura, sozinha, uma gama de ameaças em potencial. Nesse contexto, os novos padrões climáticos projetados impõem a busca por abordagens inovadoras e cada vez mais estratégicas.

É com essa perspectiva que o presente relatório reúne os esforços envolvidos no desenvolvimento de uma **Análise Custo-Benefício (ACB) de medidas de adaptação em bacia hidrográfica**. Realizada entre 2016 e início de



encaminhando para a alocação eficiente dos recursos e redução das vulnerabilidades regionais às manifestações extremas de clima.

A **ACB** surge como uma das ferramentas disponíveis para a priorização de medidas quando o foco é a eficiência. Ao contrapor os custos de uma medida aos benefícios por ela trazidos, consegue revelar de maneira objetiva qual alternativa tem maior potencial tangível de contribuição. No contexto da mudança do clima, pode avaliar, do ponto de vista econômico, a eficácia e eficiência de um investimento em adaptação. A Análise Custo-Benefício consiste em um dos critérios, entre os tantos possíveis, a serem considerados.

Nos capítulos a seguir, serão apresentados os conceitos que envolvem a gestão do risco no contexto da mudança do clima, seu entendimento específico para o setor de recursos hídricos e para o desenvolvimento de uma Análise de Custo-Benefício, bem como os passos metodológicos adotados para sua aplicação na bacia hidrográfica de interesse.

MUDANÇA DO CLIMA E RISCO CLIMÁTICO: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

O risco posto pela mudança do clima é denominado risco climático. Esse, por sua vez, parte do conceito clássico de risco, comumente representado como a **probabilidade de ocorrência de um evento** multiplicada pelos **impactos por ele causados** (IPCC, 2014), se caracterizando a partir de fatores climáticos, ambientais e humanos. As condições desses fatores resultam em diferentes escalas de risco que, quando manifestados, geram impactos de magnitudes diversas. O risco climático emerge, então, de um sistema dinâmico no qual, inicialmente, interagem quatro conceitos fundamentais: **perigo, vulnerabilidade, exposição e impacto**.



Seres humanos, meios de sustento, serviços e recursos ambientais, infraestrutura; ou ativos econômicos, sociais ou culturais

Perigo: evento adverso, de origem antrópica ou natural, que pode ser discreto ou contínuo no tempo, com potencial para gerar perdas ou danos sociais, econômicos ou ambientais.

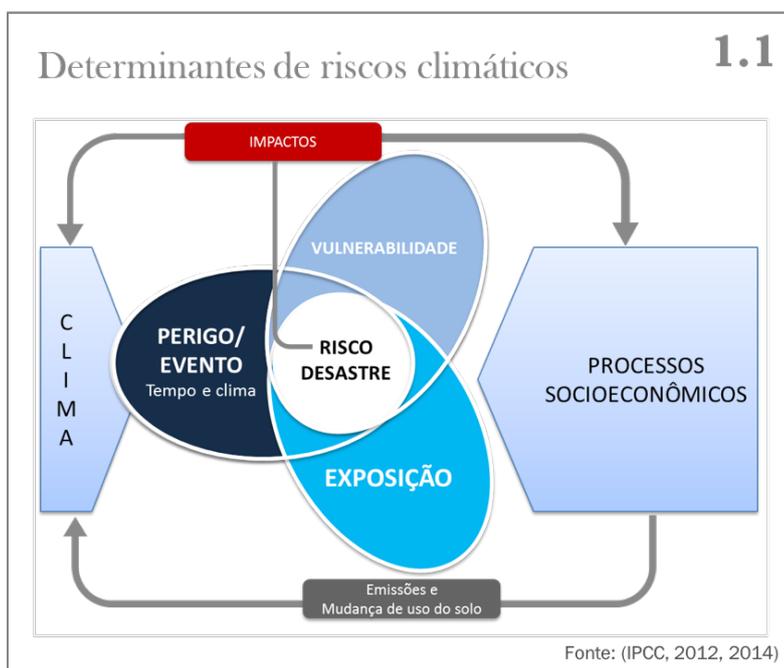
Vulnerabilidade: propensão de um sistema (cidade, infraestrutura ou indivíduo) em ser negativamente afetado por um evento, o que inclui quão sensível este é a determinado perigo e qual sua capacidade de resposta frente à adversidade imposta.

Exposição: presença de bens e pessoas em locais susceptíveis a um evento adverso.

Impacto: consequências e resultados da interação entre a vulnerabilidade de um sistema e de sua exposição a um determinado perigo, medida da dimensão dos danos e perdas.

Assim, no contexto da mudança do clima, a depender dos processos socioeconômicos e das trajetórias de desenvolvimento do sistema sendo analisado, seu grau de vulnerabilidade e exposição a um perigo climático será maior ou menor. Por outro lado, esses mesmos sistemas e suas trajetórias estão sujeitos e, ao mesmo tempo, influenciam o clima e os perigos decorrentes de sua alteração.

Termos como risco e vulnerabilidade são aplicados também em relação a desastres naturais em geral, inclusive aqueles não relacionados ao clima.



O impacto que resulta dessas interações não é imutável e dependerá das formas como os elementos se retroalimentam, como mostra a Figura 1.1 ao lado.

É da interação entre o perigo climático identificado, a vulnerabilidade e a exposição de um sistema, que surgem as possibilidades de resposta a um evento adverso e seus respectivos impactos. Nesse âmbito, outros dois conceitos adentram o espectro do **risco climático**, sendo eles: **mitigação e adaptação**.

Mitigação: responde ao risco climático via redução do perigo e conseqüente diminuição do impacto por ele provocado.

Adaptação: reduz o impacto associado ao risco climático por meio da redução da vulnerabilidade e/ou exposição do sistema.

As ações de mitigação são tradicionalmente buscadas em nível global, sendo seus benefícios e reduções de impactos observados em diferentes sistemas sensíveis ao clima, distribuídos em larga escala e no futuro mais distante. Por outro lado, o potencial da adaptação se dá em escala local, com benefícios se manifestando principalmente no sistema foco da ação e, geralmente, em prazos de tempos menores. Nesse sentido, no contexto do território, o foco deve ser em adaptação, que responde por riscos climáticos incidentes em unidades menores de planejamento e requerem ações direcionadas.

Adaptação, mais especificamente, pode ser definida como o “conjunto de alterações de localização, organização e técnicas que as sociedades terão de implementar para limitar os efeitos negativos da mudança climática e para maximizar os benéficos” (Hallegatte, Lecocq, & Perthuis, 2011). No Brasil, o PNMC estabelece adaptação como “iniciativas e medidas para reduzir a vulnerabilidade dos sistemas naturais e humanos frente aos efeitos atuais e esperados da mudança do clima” (Brasil, 2009, inciso X, artigo 2º).

O IPCC acrescenta ainda que “em alguns sistemas naturais, a intervenção humana pode facilitar o ajuste ao clima esperado e seus efeitos” (IPCC, 2014).

O entendimento dos fatores que condicionam a vulnerabilidade, a exposição e os perigos de um sistema, determinantes do risco climático e de seus conseqüentes impactos, bem como a consideração dos elementos que os influenciam, entre eles, o desenvolvimento econômico e outros contribuintes não climáticos, configura o primeiro passo para a ação em adaptação.

DEFININDO RESILIÊNCIA

A resiliência é assumida como a capacidade de um sistema em absorver e se reorganizar diante de perturbações, mantendo, ao mesmo tempo, suas estruturas e funções primeiras (Walker, Holling, Carpenter, & Kinzig, 2004). Dessa forma, o planejamento orientado para resiliência, planejamento resiliente, ações ou políticas resilientes, dentre outros, conservam na derivação o sentido originário. Na ciência climática, o emprego de tal termo carrega a atuação que se faz pertinente: a preparação frente ao indefinido, a capacidade de resposta e ação de forma a minimizar impactos e a habilidade em se manter funcionando mesmo em meio a condições adversas. Nesse sentido, o IPCC (2014) define resiliência como “a capacidade de sistemas sociais, econômicos e ambientais de lidar com eventos perigosos, discretos (pontuais) ou contínuos, respondendo ou se reorganizando de forma a manter sua função, identidade e estrutura essenciais, ao mesmo tempo que mantém sua capacidade de adaptação, aprendizado e transformação”. Sistemas e sociedades podem agir no sentido de aumentar sua resiliência, via ações em adaptação ou práticas de desenvolvimento mais sustentáveis e conscientes em relação às forçantes de clima e economia. Nesses casos, quanto mais resiliente for o ator em questão, menos vulnerável ao risco este estará.

AÇÃO EM ADAPTAÇÃO: GESTÃO DO RISCO CLIMÁTICO E TOMADA DE DECISÃO

O que é a gestão do risco climático

A gestão do risco climático em um determinado sistema consiste, portanto, em aumentar sua eficiência de ajuste frente aos perigos externos, reduzindo os impactos associados. Dessa forma, é possível gerir o risco climático diminuindo a magnitude de um impacto, via medidas de mitigação, ou reduzindo a exposição e/ou a vulnerabilidade do sistema, por meio de ações em adaptação (GVces, 2014). Ações em adaptação, especificamente, ao aumentar o ajuste do sistema frente à estímulos externos, o tornam mais resiliente, sendo definidas como ações com foco na **gestão do risco, em contraposição à gestão da crise**.

É possível tratar essas ações como sendo de adaptação antecipatória (gestão do risco) e adaptação reativa (gestão da crise) (Smit, Burton, Klein, & Wandel, 2000). Aqui adotamos o termo adaptação como somente em caráter antecipatório.

Ações que focam na gestão da crise são importantes para a minimização dos danos decorrentes de uma situação de emergência, agindo no curtíssimo prazo e, portanto, não contribuindo para a resiliência do sistema, sendo em grande parte apenas de caráter paliativo. Por outro lado, ações de gestão do risco, como aquelas que promovem a adaptação, se caracterizam por serem planejadas para aumentar a capacidade adaptativa, gerando benefícios de médio e longo prazo.

QUEM PODE GERIR E A QUEM CABE O RISCO CLIMÁTICO

A mudança climática global se constitui como um problema transversal que atinge diversas comunidades ao redor do planeta, de forma que todos os sistemas terrestres são afetados, mesmo que em diferentes níveis de intensidade. Nesse processo, os impactos se distribuem entre os diferentes setores da sociedade, não se limitando apenas a um problema de caráter ambiental, atingindo também diferentes esferas do meio social, como campos de debate socioeconômico e político.

Dessa forma, a adaptação à mudança do clima pode ser promovida tanto por atores públicos quanto privados, uma vez que os esforços devem ser tão mais abrangentes quanto o é problema. Apesar disso, dada a complexidade da gestão do risco climático e o fato de seus impactos muitas vezes englobarem bens públicos, a adaptação por parte dos indivíduos pode se mostrar ineficaz ou insuficiente (Lecocp & Shalizi, 2007). Algumas das justificativas para intervenção pública se relacionam à informação imperfeita, à existência de externalidades e à dificuldade de coordenação entre os agentes. Adicionalmente, os governos são responsáveis pela elaboração de regras e regulamentos que podem aumentar ou restringir a capacidade de adaptação de outros atores, bem como devem garantir o acesso à água potável, saneamento e ativos públicos. Além disso, outros serviços, como monitoramento do clima e eventos, fornecimento de previsões meteorológicas, fomento à pesquisa e desenvolvimento no tema de adaptação, fazem dos governos e órgãos públicos atores essenciais para a adaptação (Lecocp & Shalizi, 2007). Nesse sentido, o planejamento e ação em adaptação por parte dos agentes públicos deve observar além da eficiência, a equidade entre os indivíduos, uma vez que restrições orçamentárias podem impedir a gestão do risco climático em algumas regiões do território nacional (Hellegatte, Lecocp, & Perthuis, 2011).

Nesse contexto, as ações em adaptação incluem diferentes formas de atuação, sendo materializadas principalmente via implementação de **medidas de adaptação**.

Tais medidas, além de garantir o ajuste dos sistemas contemplados às novas condições de clima, também garantem uma melhor resposta em momentos de crise.

O foco dos processos abordados foi a ação em adaptação por parte de atores públicos.

Dessa forma, medidas de adaptação promovem a gestão do risco climático ao reconhecer um perigo e agir para minimizar seus impactos. Frequentemente, caracterizam-se como estratégias que podem focar na partilha do risco, na assimilação de suas perdas,

na modificação dos efeitos de um evento adverso ou na realocação de bens e vidas humanas, reduzindo sua exposição (Burton et al., 1993 apud Adger, Arnell & Tompkins, 2005).

O foco do presente estudo esteve, portanto, em avaliar, dentre as medidas de adaptação identificadas para determinada região, aquelas mais eficientes, em termos econômicos, na redução da vulnerabilidade dos sistemas hídricos aos perigos hidroclimáticos que se manifestam localmente e que podem se agravar com a mudança do clima.

Existem diferentes medidas de adaptação disponíveis para lidar com o risco climático. A escolha por um caminho em detrimento do outro deverá considerar as prioridades do ator promovendo a adaptação, os objetivos da ação em si e os insumos disponíveis para tanto. Independentemente desses fatores, a tomada de decisão em adaptação envolve a consideração tanto dos fatores que determinam o risco, quanto da incerteza associada à delimitação de seus componentes.

Tomada de decisão e incerteza

O que diferencia a tomada de decisão no contexto da mudança do clima são as escalas de tempo envolvidas, a natureza difusa dos impactos e de seus riscos associados e o elevado grau de incerteza que acompanha essas variáveis (IPCC, 2014b, p. 200). Tais incertezas incluem não só o clima futuro, mas também mudanças nas trajetórias socioeconômicas que podem ocorrer ao longo de gerações.

A maior variabilidade climática implica em contextos e escalas, temporais e geográficas, muito diferentes. A projeção de condições futuras a partir dos padrões observados no passado – com base em séries históricas, por exemplo – é um exercício

Se no passado foi assumida a estacionariedade dos fenômenos climáticos, no presente, essa premissa não mais se sustenta. A crescente variabilidade dos eventos de precipitação, por exemplo, com registros que se distanciam muito das médias históricas e das probabilidades de ocorrência esperadas, é um indício de que projetar o futuro com base no passado observado não será suficiente para garantir a adequabilidade dos sistemas humanos aos condicionantes de clima (Milly, et al., 2008).



que, agora, se revela pouco eficaz. Dessa forma, a cada novo fator que deve ser considerado na modelagem do clima futuro, um novo nível de incerteza é adicionado, como mostra a Figura 1.2 ao lado.

Essas incertezas, na maior parte das vezes, não são possíveis de serem quantificadas. Sendo assim, focar apenas na redução da incerteza pode ser contraproducente, sendo necessário, em contrapartida, o início da prática de gestão de tal incerteza. Nesse sentido, **a gestão da incerteza propõe que se reconheça as incertezas intrínsecas ao ato de se planejar para o**

futuro, de forma que estas não sejam uma justificativa para a inação, adotando uma abordagem que considere diferentes desdobramentos de futuros possíveis, por exemplo (Quay, 2010).

PLANEJAMENTO SOB INCERTEZA E A ABORDAGEM POR CENÁRIOS

A replicação de padrões historicamente observados é uma prática comum no exercício de planejamento. No entanto, o encadeamento de variáveis antrópicas e climáticas conserva, inerentemente, diversas incertezas. Não se podendo evitá-las, uma abordagem por cenários propõe trabalhar tais incertezas de maneira ativa, abrangendo a tradicional interpretação de um futuro provável, para variadas composições de futuros possíveis. Nesse contexto, deve-se considerar que os perfis econômicos e os ritmos de crescimento locais podem ser tão decisivos para uma região quanto a probabilidade de eventos climáticos extremos. Isso significa que, a partir de um arranjo suficientemente completo de cenários futuros, que em sua amostra represente uma totalidade satisfatória de situações possíveis, os diferentes desdobramentos visados são contemplados de maneira a proporcionar um planejamento hipotético estratégico e consciente, contornando assim as potenciais incertezas.



TESTES DE SENSIBILIDADE E MEDIDAS *NO E LOW-REGRET*

Os parâmetros e hipóteses em qualquer modelo (econômico ou não) estão sempre sujeitos a variações e erros; além disso, se há incerteza acerca dos valores correntes (atuais) de diversos parâmetros contemplados, tal incerteza é ainda maior com relação a seus valores futuros (Pannell, 1996). Para minimizar esse problema, é recomendável realizar testes de sensibilidade, de forma a conduzir “uma investigação dessas potenciais variações e erros e seus impactos sobre as conclusões a serem derivadas do modelo” (Baird, 1989 apud Pannell, 1996).

Testes de sensibilidade podem, assim, permitir uma melhor compreensão acerca do impacto de diferentes fatores sobre uma variável de interesse; reconhecer qual grupo de parâmetros é responsável pela maior variação dos resultados (e quais possuem menor relevância); e funcionar como uma ferramenta para garantir a qualidade da análise, certificando o analista de que os métodos aplicados fazem sentido na prática (Saltelli, Tarantola e Campolongo, 2000).

Caso surja alguma estratégia ou curso de ação preferencial a partir dos testes de sensibilidade, confere-se maior confiança em sua recomendação ou aplicação. Realmente, a condução de testes de sensibilidade em processo de tomada de decisão em um cenário de incerteza como o das mudanças do clima, pode também tornar útil a classificação das medidas de adaptação de acordo com o risco do investimento não ser justificado. Nesse contexto, por exemplo, surgem os conceitos de medidas do tipo no-regrets e low-regrets:

- Opções no-regrets (sem arrependimentos): medidas ou atividades que se provarão válidas ainda que nenhuma mudança climática (adicional) ocorra; e
- Opções low-regrets (baixo arrependimento): opções no-regrets que requerem pequenos esforços/gastos adicionais para lidar com os impactos negativos da mudança do clima (PNUD, 2005).

A identificação de medidas de adaptação associadas a baixo ou mesmo nenhum arrependimento permite que tomadores de decisão consigam encontrar possíveis cursos de ação, mesmo em um ambiente de considerável incerteza (GVces, 2016). Logo, uma prática importante para reduzir a influência das premissas e hipóteses assumidas com relação a uma ACB é a adoção de diferentes cenários, de forma a confirmar (ou desafiar) a robustez de determinado resultado. Isto é, se determinado ranqueamento entre medidas é observado sistematicamente para diferentes cenários, a opção por perseguir um curso de ação é feita com maior segurança.



Risco prioritário e medidas de adaptação

Para gerir o risco climático, **primeiramente deve ser feita uma avaliação dos riscos, vulnerabilidades e potenciais impactos associados à variabilidade do clima**. Mapeadas essas variáveis do sistema de interesse, um ranqueamento pode revelar qual, dentre os riscos identificados, deve ser priorizado para a ação em adaptação. Diferentes critérios podem ser utilizados para a priorização do risco, como a ordem de magnitude, probabilidade de ocorrência, reversibilidade do impacto, dentre outros.

Após a identificação do risco prioritário, deve-se seguir com o **levantamento das medidas de adaptação para o sistema em análise**. A identificação inicial daquelas ações que podem ajudar a reduzir os impactos de determinado risco passa necessariamente pela consulta dos atores envolvidos, tanto aqueles que são impactados diretamente, quanto especialistas e representantes de órgãos e agências governamentais, além de organizações não governamentais e da sociedade civil.

Dentro de um conjunto extenso de medidas de adaptação possíveis, também é demandado o exercício de priorização. Dado que recursos para implementação são geralmente limitados, é necessário identificar, dentre as alternativas levantadas, aquelas que maximizarão tanto o retorno do investimento feito, quanto os benefícios proporcionados. Essa análise pode ocorrer segundo diversos critérios, que serão definidos conforme as prioridades estabelecidas. Alguns exemplos desses critérios são os custos associados, a eficácia em reduzir o risco ou a aceitação econômica e social, entre outros.

Tal envolvimento não somente contribui para o levantamento de um rol extensivo de possíveis medidas de adaptação, como pode assegurar o engajamento desses grupos na implementação das medidas em um segundo momento (ECA, 2009). Adicionalmente, já se torna possível identificar eventuais preferências ou restrições, para além daquelas de ordem técnica ou financeira.



A ACB COMO MÉTODO PARA A PRIORIZAÇÃO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Além dos critérios isolados apresentados na seção anterior, existem diferentes métodos possíveis de serem empregados no processo de priorização e escolha de medidas de adaptação, sendo cada um desenvolvido a partir de uma fundamentação teórica diferente. A Análise Custo-Benefício, especificamente, baseia-se na eficiência como principal critério de decisão. Assim, a comparação entre medidas de adaptação se dá por meio de custos e benefícios agregados em um único parâmetro, construído com base em unidades monetárias, a relação custo-benefício (RCB).

Apesar de o critério de eficiência ser relevante em grande parte dos contextos socioambientais, nem todos os custos e benefícios proporcionados por uma medida são tangíveis a ponto de serem quantificáveis em termos monetários. Dessa forma, a **ACB funciona como um dos critérios de decisão, não podendo, por outro lado, ser empregada como única base de referência.**

Isto posto, um processo de tomada de decisão compreensivo deve considerar os diferentes alcances de uma medida de adaptação, atentando para seus aspectos constitutivos e possíveis sinergias com o ambiente local. Critérios subjetivos devem ser levados em consideração, podendo ser incluídos, por exemplo, a partir de uma análise multicritérios.

Além disso, há também abordagens que incorporam não só os diferentes impactos de uma medida de adaptação, como consideram o dinamismo intrínseco à uma intervenção dessa natureza, que é o caso das análises de equilíbrio geral.

A ANÁLISE MULTICRITÉRIOS

A análise multicritérios, como diz o nome, baseia-se em diversos critérios sendo comparados simultaneamente. É especialmente útil na análise de situações complexas, como, por exemplo, alternativas nas quais o custo e o benefício não são facilmente monetizáveis ou, ainda, quando os critérios de decisão são conflitantes. Além disso, esse tipo de análise consegue captar perdas intangíveis, dificilmente quantificáveis em termos monetários. Resumidamente, a técnica se fundamenta na atribuição de diferentes pesos para os critérios de interesse, definidos conforme sua importância relativa. As pontuações são baseadas em atributos (por exemplo, “reversível” ou “não reversível”; “significativo”, “pouco significativo” ou “não significativo”) dados para cada critério, de forma que tais atributos são traduzidos em números que resultarão em uma pontuação final. Por fim, a soma das pontuações em cada critério, para cada alternativa, será o parâmetro de comparação, tal como a eficiência é na ACB (inclusive, podendo ser a eficiência um dos critérios na análise multicritérios).



Crítérios relevantes na tomada de decisão no contexto da mudança do clima

1.3



A Análise Custo-Benefício (ACB)

O objetivo de uma Análise Custo-Benefício (ACB) é o de comparar, a partir de uma base comum e de um enfoque econômico, diferentes cursos de ação e, assim, subsidiar o processo de tomada de decisão em determinado contexto. Isto é, os custos (de implementação, operação e manutenção) e os benefícios de determinada intervenção ou projeto são confrontados, geralmente, em termos monetários e de forma agregada para diferentes setores da sociedade.

Por que realizar uma ACB

Ao comparar todos os custos e benefícios em termos monetários, a ACB tende a ser o método mais adotado quando o tomador de decisão visa a distribuição eficiente de recursos escassos. O uso de uma mesma base monetária, por exemplo, permite a comparação inclusive entre soluções associadas à provisão de bens e serviços ambientais com outros bens econômicos, bem como indicar se e quando a adoção de determinada medida é apropriada.

ACB e medidas de adaptação

Uma ACB pode avaliar e comparar diferentes medidas de adaptação à mudança do clima, inclusive para o setor de recursos hídricos e em região propensa a eventos de escassez, ao contemplar seus custos e os benefícios delas esperados. Assim, a Análise Custo-Benefício configura uma importante etapa prévia à adoção de fato de medidas de adaptação.

Contudo, é importante destacar o caráter prático de uma ACB e, portanto, considerar somente opções cuja adoção seja factível desde o início do período de análise e em escala de tempo razoável para gerar o máximo possível de benefícios. Isto é, de modo geral, um exercício de ACB não se propõe a imaginar conjecturas futuras, mas embasar o processo de tomada de decisão no presente (GVces, 2016).

Limitações inerentes à uma ACB

Uma ACB pode ajudar o tomador de decisões a identificar potenciais conflitos distributivos, contudo não leva tais considerações em seu ranqueamento das medidas. Isto é, analisa-se as medidas de acordo com sua relação custo-benefício (RCB), sem diagnosticar quais indivíduos, ou grupos, arcarão com os custos e/ou serão contemplados com os benefícios (GVces, 2014). Entretanto, fica claro que para toda medida com RCB menor que 1, o investimento compensará do ponto de vista econômico.

Além disso, a ACB incorpora limitações inerentes à realização de considerações de longo prazo, de vasta distribuição territorial e através de diversos setores de atividades. Outras limitações estão relacionadas às dificuldades de estimação de perdas para determinados setores, bem como à projeção de cenários socioeconômicos futuros.

Adicionalmente, ela também não consegue captar os comportamentos e ações que naturalmente seriam observados pelos indivíduos frente às mudanças nos seus arredores, de forma que não há maneira razoável de estipular ou prever como e com qual intensidade as pessoas reagiriam a um evento adverso.

Compreender e evidenciar as dificuldades e limitações associadas à aplicação de uma ACB de caráter antecipatório, não diminui sua validade, apenas permite que os resultados encontrados e implicações, que surjam a partir desses, sejam cuidadosamente avaliados.



Principais passos de uma ACB aplicada à resiliência climática

Para gerir o risco climático, um tomador de decisão deve considerar não somente os condicionantes de clima como também os fatores que estressam a dinâmica socioeconômica. Nesse sentido, como discutido, o risco será uma resultante das qualidades de vulnerabilidade e exposição do sistema, bem como do perigo ao qual este está submetido.

A consideração de fatores climáticos e econômicos na composição do risco resulta no denominado **Risco Climático Total**. Esse termo traduz a necessidade em se avaliar todos os fatores de risco quando do planejamento no contexto da mudança do clima. Assim, em uma Análise de Custo-Benefício aplicada nessa conjuntura, os processos decisórios não podem nem negligenciar o incremental de risco trazido pelo clima, nem ignorar como este e a economia se influenciam mutuamente (ECA, 2009).

Portanto, a teoria por trás da aplicação de uma ACB no contexto da mudança do clima parte de um esquema clássico de avaliação de risco, composto por cinco etapas sequenciais e não excludentes (ECA, 2009). O primeiro passo consiste em identificar os riscos mais relevantes e regiões de interesse para avaliação das vulnerabilidades. Na sequência, deve-se quantificar quanto, em termos monetários, está em risco de ser perdido. O terceiro passo é a etapa de planejamento da resposta do sistema, no caso, as medidas de adaptação a serem analisadas.

Os últimos dois passos dizem respeito à implementação das medidas priorizadas, avaliação dos resultados e incorporação dos aprendizados no processo de gestão climática, que deve ser iterativo. Para a aplicação da Análise Custo-Benefício em recursos hídricos aqui apresentada, o foco esteve apenas nas primeiras três perguntas, que serviram de inspiração para a constituição de uma abordagem que respondesse ao contexto de interesse. A Figura 1.4 mostra as etapas descritas.



Etapas para avaliação do risco climático total

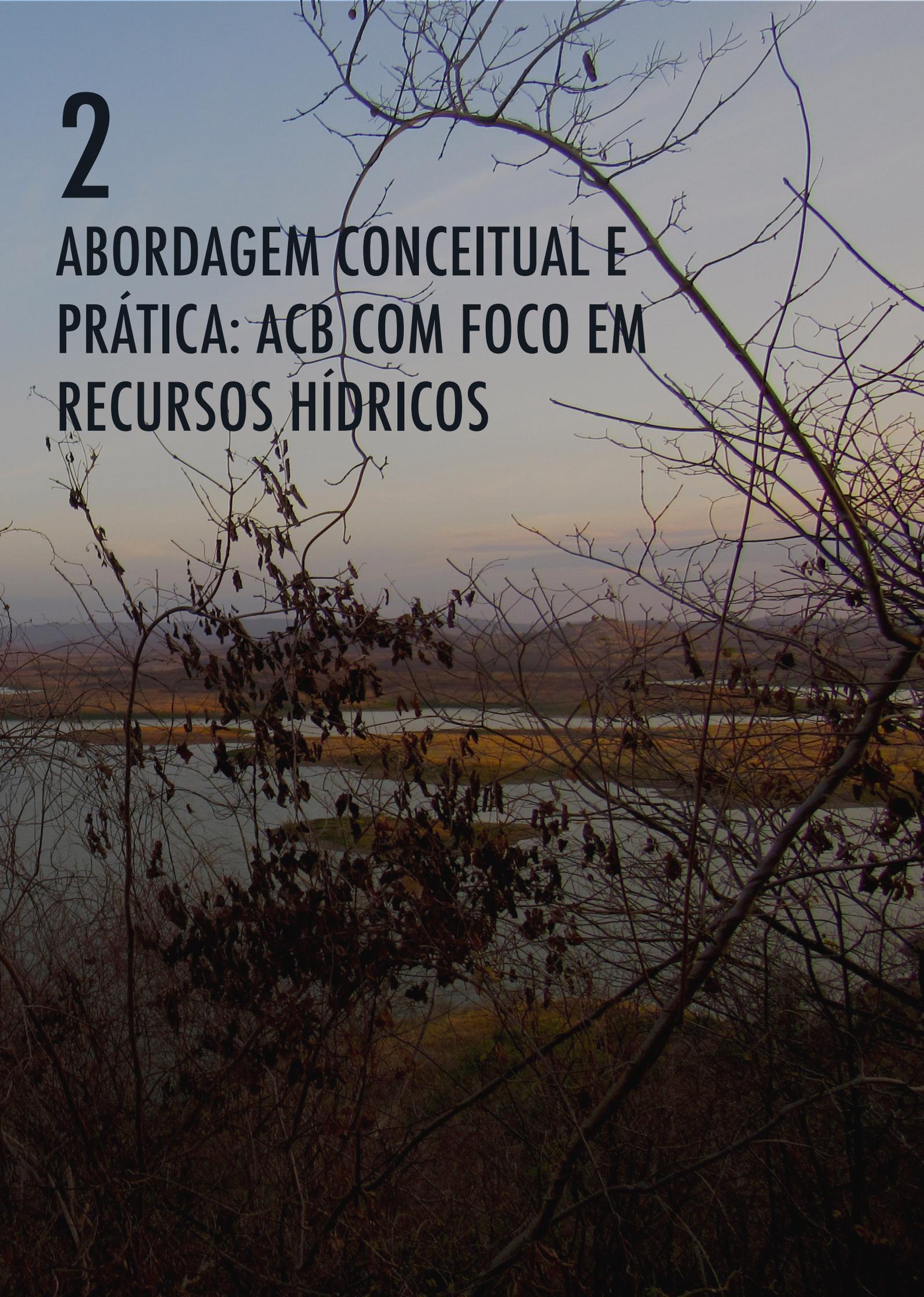
1.4





2

ABORDAGEM CONCEITUAL E PRÁTICA: ACB COM FOCO EM RECURSOS HÍDRICOS



GESTÃO DO RISCO CLIMÁTICO NO SETOR DE RECURSOS HÍDRICOS

Historicamente, a estacionariedade dos fenômenos naturais foi assumida como premissa básica para a resolução de problemas. Ou seja, sempre se procurou em padrões passados, o entendimento do futuro. Dessa lógica, emergiram as técnicas mais tradicionais de planejamento infraestrutural, como aquelas observadas no setor de recursos hídricos. Tal abordagem é embasada principalmente na percepção do mundo como um conjunto estável e previsível. A mudança do clima, no entanto, alterou essas premissas, aumentando o grau de incerteza a respeito dos eventos climáticos (Quay, 2010).

Nesse sentido, a mudança do clima trouxe novos desafios à gestão de recursos hídricos e aos sistemas sociais e econômicos que dela dependem. Tais desafios incluem compreender as forças naturais recentes que ameaçam a estabilidade antes observada, respondendo de maneira eficaz a esse novo contexto. É nessa conjuntura que a **mudança do clima impõe a gestão climática** como nova componente de planejamento.

Uma vez o risco identificado, a tomada de decisão pode se beneficiar quanto mais consciente e atenta às evidências. Assim, são necessárias ferramentas que auxiliem os processos de planejamento em setores como o de recursos hídricos. As **medidas de adaptação**, que buscam lidar com o risco climático, variam desde intervenções físicas a regulatórias. Dada a complexidade de variáveis e a diversidade de alternativas para implementação, a **priorização** de medidas surge como elemento-chave para alocação eficiente de recursos, muitas vezes, escassos.



Setor de recursos hídricos e resiliência

A própria essência do setor de abastecimento de água remonta em sua variabilidade. Do entendimento dos padrões de precipitação, foi possível criar estratégias e estruturas que permitiram transportar a água, incidente na superfície, através do tempo

e do espaço. Desse contexto, resultaram as metodologias clássicas de planejamento no setor de recursos hídricos, em que a análise das séries históricas de variáveis hidroclimáticas representa o principal insumo para o dimensionamento dos sistemas de reservação e distribuição de água.

Apesar de haver uma variabilidade intrínseca ao clima, o registro sequencial e crescente de eventos com baixa probabilidade de ocorrência e que fogem dos padrões antes observados, evidenciam uma nova configuração de risco climático, na qual o perigo de escassez de água se revela cada vez mais presente. Enquanto a mudança do clima aumenta o perigo de escassez, as trajetórias de desenvolvimento aumentam a exposição e vulnerabilidade dos sistemas.

Nesse sentido, novas abordagens que considerem a crescente variabilidade devem ser buscadas para que se promova a capacidade adaptativa dos sistemas hídricos, aumentando sua resiliência frente a eventos climáticos cada vez mais extremos e frequentes.

Risco de escassez hídrica

Dado que a mudança do clima é um perigo de natureza essencialmente hidrometeorológica, o setor de recursos hídricos é um dos primeiros, e mais evidentes, a ser impactado. De fato, no Brasil, desde 2012, secas extraordinárias têm sido observadas em diferentes porções do território nacional, com destaque para os eventos de escassez na Região Sul em 2012 e Sudeste em 2014. Além disso, 2015 caracterizou-se por anomalias de precipitação registradas abaixo do normal, e 2016, como um ano seco a extremamente seco em grande parte do país (ANA, 2017).



“Os planos de recursos hídricos são o primeiro instrumento citado na Política Nacional de Recursos Hídricos e, de acordo com o disposto no art. 6º da referida lei, são planos que visam a fundamentar e a orientar sua implementação e o gerenciamento desses recursos” (PNRH, 2006)

“Os comitês de bacia são órgãos colegiados locais cujas atribuições devem ser exercidas na bacia hidrográfica de sua jurisdição, cabendo-lhes promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes, bem como arbitrar, em primeira instância administrativa, os conflitos relacionados aos recursos hídricos, aprovar o Plano de Recursos Hídricos da bacia, acompanhar sua execução e sugerir as providências necessárias ao cumprimento de suas metas.” (PNRH, 2006)

Nesse contexto, destaca-se a região semiárida, reconhecida pela incidência de eventos de seca extrema e tendo passado recentemente, entre 2012 e 2017, por um período de seis anos ininterruptos de intensa escassez hídrica. Além disso, a relação causal entre tais eventos e a conjuntura social, econômica e política da região é historicamente destacada como um dos seus principais condicionantes de vulnerabilidade.

Análise Custo-Benefício em bacia hidrográfica

O planejamento público no setor de recursos hídricos consiste principalmente em implementar os Planos de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica. Como órgão responsável pela implementação do Plano, tem-se o Comitê de Bacia Hidrográfica, que carrega a função de coordenar os elementos sociais e físicos que se dinamizam em torno da disponibilidade de água e das demandas por seu uso.

Dado o caráter recente da mudança do clima e de seus impactos mais evidentes, esses mecanismos governamentais ainda carecem de estratégias que consigam integrar a gestão do risco climático em seus ciclos decisórios. Adicionalmente, avaliações de caráter econômico acabam negligenciadas frente a outros tipos de análises quando do planejamento no setor. Como discutido, uma abordagem multicritérios deve ser sempre priorizada, incluindo, naturalmente, a perspectiva econômica e de melhor alocação de recursos.

Nesse sentido, uma Análise Custo-Benefício para avaliar medidas de adaptação se mostra oportuna dado seu **potencial de agregar a avaliação econômica à gestão do risco climático, unindo aspectos ambientais e socioeconômicos**. Além disso, seu caráter prático representa ferramenta poderosa para o planejamento sob incerteza, oferecendo direcionamento para a priorização no contexto da crescente variabilidade climática.

Para uma ACB, é necessário se considerar alternativas concretas que tenham tanto seus efeitos no sistema, quanto seus custos de viabilização, declarados. Essa condição primária conversa facilmente com a proposta de um Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica, que geralmente acompanha um repertório de intervenções com foco em aumentar a eficiência da gestão dos recursos hídricos. Tal Plano é elaborado geralmente para um horizonte de 20 anos, sendo periodicamente revisado e atualizado. Assim, a Análise Custo-Benefício pode contribuir ao incluir o componente climático e econômico, bem como revelar as ações de caráter prioritário.

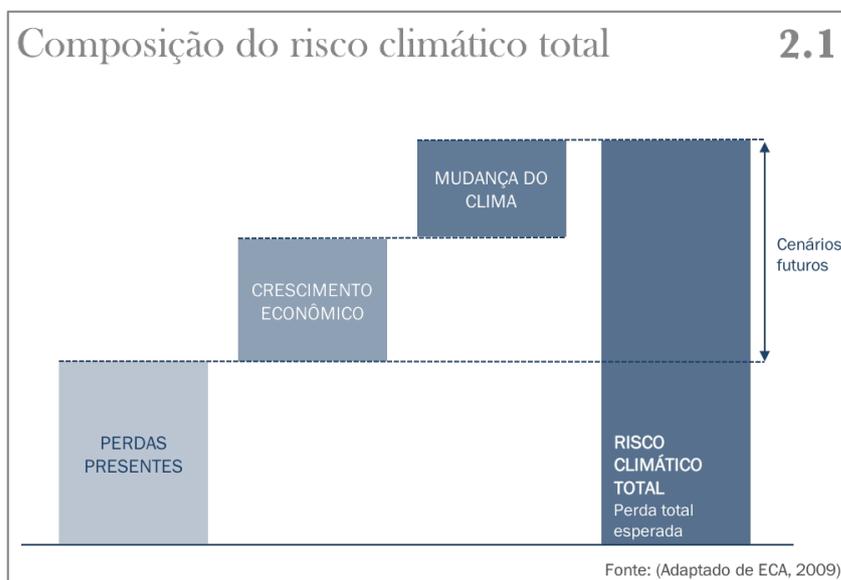
FRAMEWORK CONCEITUAL PARA APLICAÇÃO DA ANÁLISE CUSTO- BENEFÍCIO EM RECURSOS HÍDRICOS

A partir do esquema geral apresentado no capítulo anterior para avaliação do Risco Climático Total, as três primeiras etapas – que consistem em: I) identificar o risco ao qual o sistema está susceptível, expresso em déficits hídricos; II) quantificar a perda econômica associada a tais eventos; e III) avaliar a resposta de potenciais medidas de adaptação em termos do quão eficiente cada uma seria em evitar tal perda – foram adaptadas para a aplicação de uma Análise Custo-Benefício no contexto do setor de recursos hídricos.

Dessa forma, neste setor, a perda econômica esperada é dada a partir do denominado Risco Físico, que se caracteriza pelos padrões de distribuição e disponibilidade de água e resulta das interações entre os aspectos de clima e economia. Isso significa que, sendo a disponibilidade hídrica dada pelas vazões que fluem nos sistemas considerados e a distribuição pelos padrões de uso de tal recurso, o Risco Físico é expresso pelos potenciais déficits resultantes da insuficiência de água frente às demandas por seu consumo, ou seja, a vulnerabilidade do conjunto hidrológico de interesse.

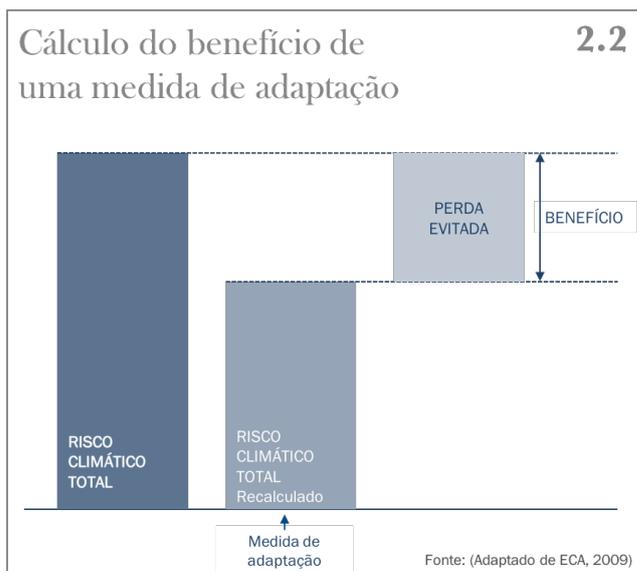
A caracterização do Risco Físico carrega intrinsecamente o componente da mudança do clima ao considerar padrões de disponibilidade de água futuros. Por meio de cenários climáticos, propõe identificar o incremental de perdas, em relação ao cenário de base, associado à variabilidade de tais padrões. Na sequência, faz-se, a partir de métodos de estimação, o cálculo da perda econômica decorrente dos déficits quantificados, o denominado Risco Climático Total.

A subsequente avaliação das medidas de adaptação considera que cada alternativa poderá agir na disponibilidade ou na distribuição de água, resultando em

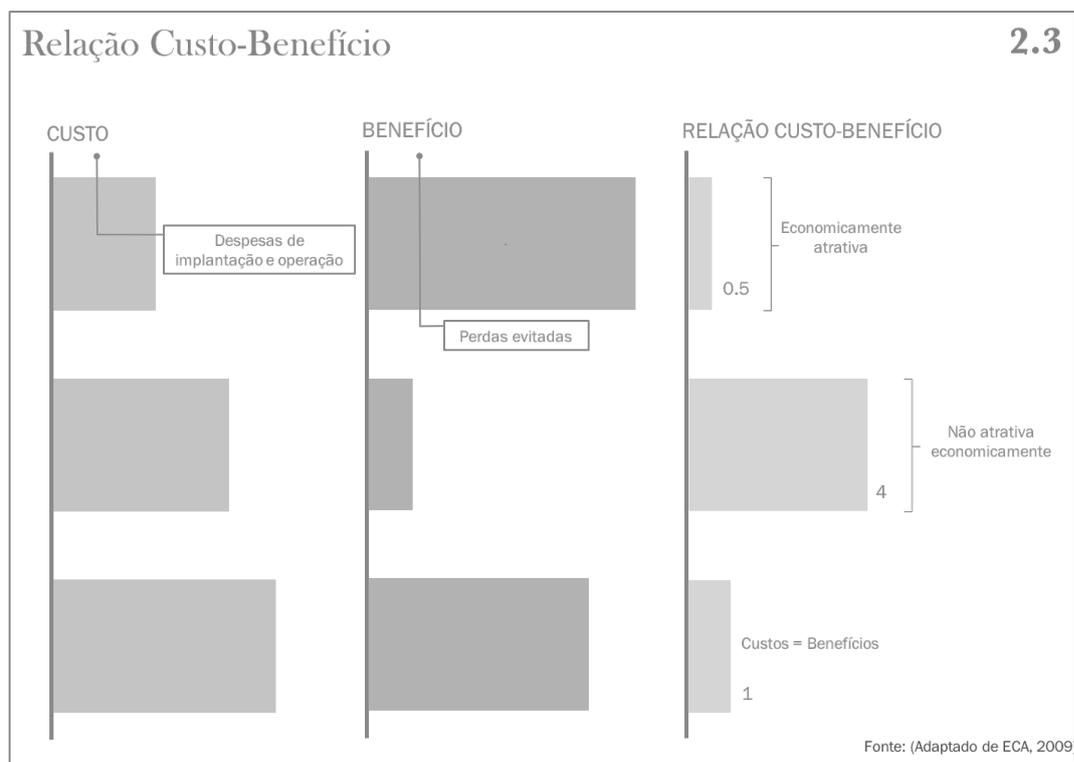


novos Risco Físico e Risco Climático Total. Por fim, ao se contrapor os valores quantificados anteriormente à implantação da medida e aqueles obtidos após sua adoção, tem-se seu correspondente benefício, ou seja, a perda econômica por ela evitada. A maneira como determinada medida interagirá com o ambiente natural e humano corresponde à forma como o benefício observado no sistema hidrológico, expresso em termos de maior disponibilidade ou melhor distribuição hídrica, se traduzirá em

perdas econômicas menores.



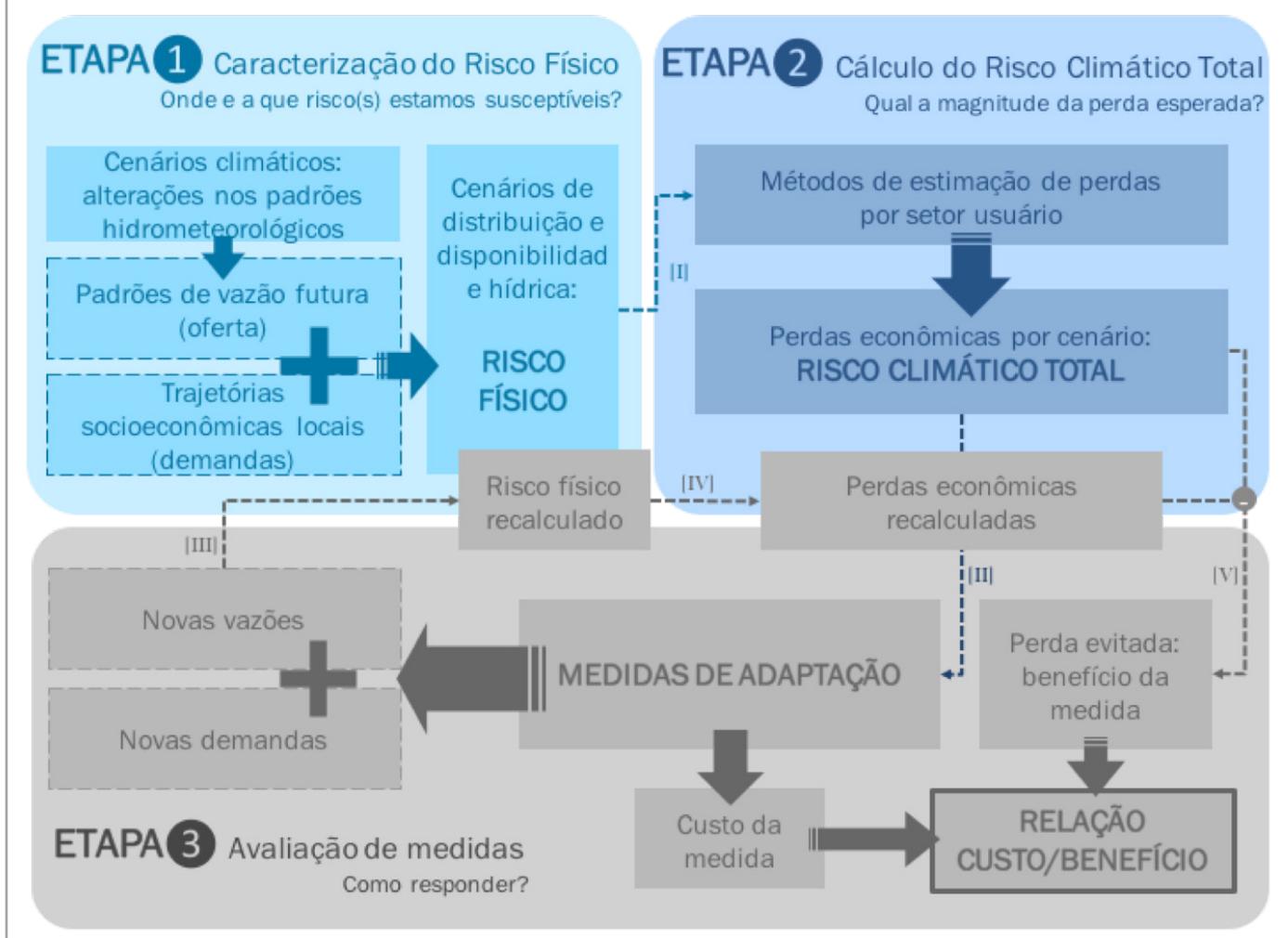
Dividindo-se o custo de implementação e operação da medida por seu benefício associado, tem-se a Relação Custo-benefício (RCB). Para resultados menores que 1, o custo é menor que o benefício, nos casos em que a RCB é maior que 1, por outro lado, os custos excedem os benefícios. **Assim, o RCB é um indicador objetivo que auxilia na alocação eficiente de recursos escassos**, não devendo, contudo, ser o único critério quando do planejamento em adaptação.



Os conceitos que compõem cada etapa são apresentados no *framework* conceitual apresentado na Figura 2.4 a seguir.

Framework conceitual para realização de uma Análise de Custo-Benefício em recursos hídricos

2.4



HISTÓRICO DE APLICAÇÃO DA ACB: PROJETO-PILOTO NA BACIA DO PCJ

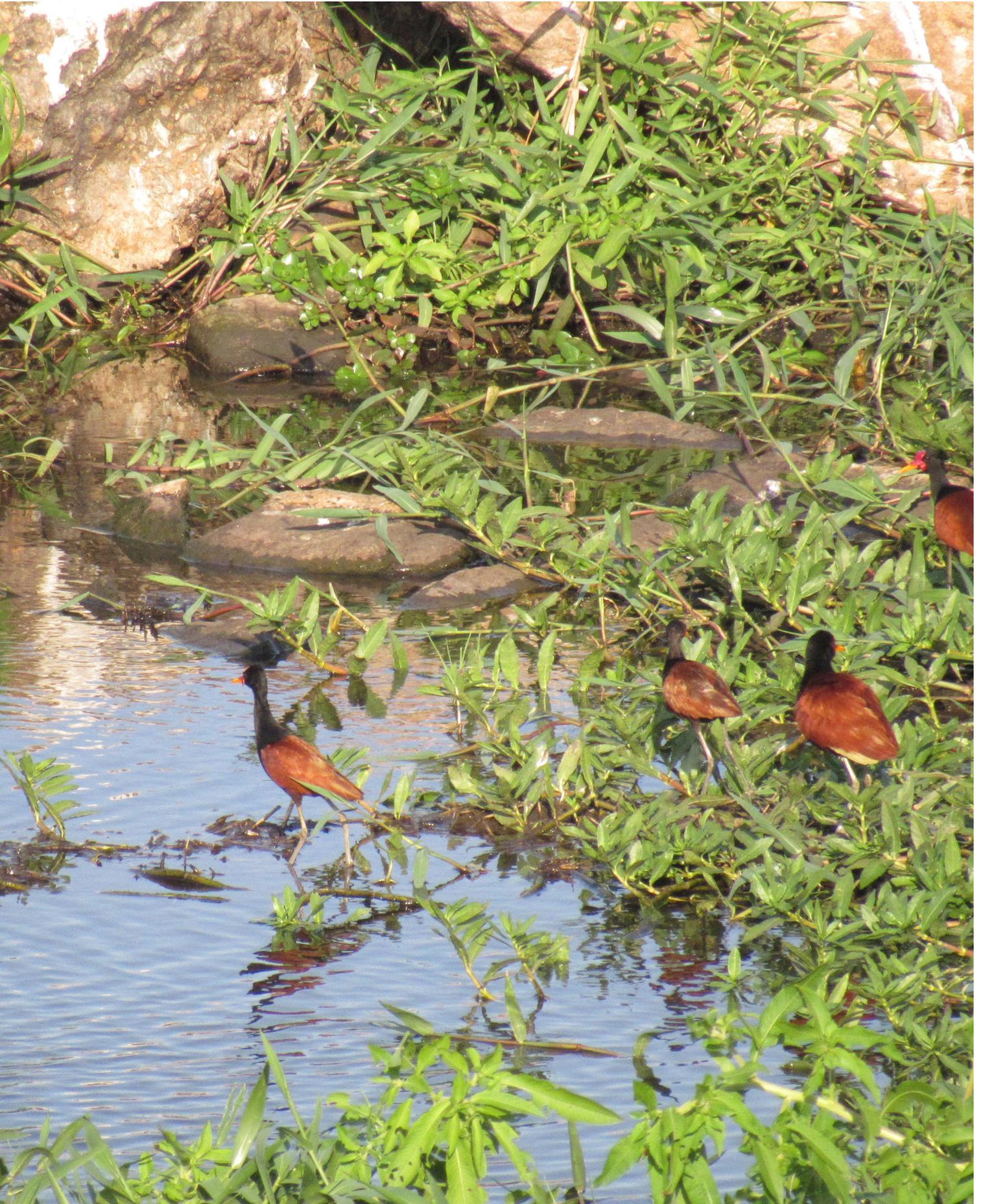
A aplicação da Análise Custo-Benefício de medidas de adaptação na bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu foi precedida por um projeto-piloto que pretendia testar e desenvolver a metodologia de priorização de medidas de uma ACB no contexto da mudança do clima. Tal projeto surgiu de uma parceria entre o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Agência Nacional de Águas (ANA), tendo como objetivo abordar um tema de interesse comum, decidido, por fim, no setor recursos hídricos, dentro de uma bacia hidrográfica federal. Dada a característica experimental e didática do estudo, foi escolhida, em conjunto com os órgãos governamentais responsáveis, a bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), principalmente por ser uma bacia com grande quantidade de informações disponíveis. A aplicação esteve focada nos usos para abastecimento urbano, industrial e irrigação e nos riscos associados à escassez hídrica no futuro.

Essa experiência delimitou como as primeiras três etapas para gestão do risco climático seriam adaptadas para recursos hídricos. Dessa forma, a ACB na bacia do PCJ estabeleceu, pela primeira vez, a quantificação do Risco Físico, o cálculo do Risco Climático Total e a posterior avaliação de medidas de adaptação. Além de revelar a magnitude do risco de escassez e da perda econômica associada, em sua última etapa, estudou 11 alternativas levantadas a partir do contexto local e conseguiu identificar medidas prioritárias para a ação em adaptação.

Alguns pontos se destacaram como lacunas da abordagem proposta, que reconhecidos, puderam ser aprimorados na aplicação subsequente da ACB no semiárido. Entre eles, o horizonte temporal, que em contraposição a uma simulação contínua, apenas considerou os resultados pontuais no ano de 2050. Além disso, os cenários climáticos foram compostos a partir de um único modelo e os métodos de estimação de perdas econômicas desenvolvidos em profundidade apenas preliminar.

Por fim, a aplicação conduzida na bacia do PCJ demonstrou, apesar das limitações existentes em um primeiro esforço de caráter didático, a aplicabilidade de uma ACB para o setor de recursos hídricos e permitiu os desenvolvimentos que se seguiram na replicação da metodologia para outra bacia hidrográfica do Brasil.







3

ESTUDO DE APLICAÇÃO DA ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO EM BACIA HIDROGRÁFICA



O SEMIÁRIDO BRASILEIRO E A BACIA DE INTERESSE

A escassez hídrica, muitas vezes decorrentes de eventos intensos de seca, carrega expressivo potencial para gerar impactos econômicos, dado que grande parte das atividades humanas depende da água. Um impacto dessa natureza comumente extrapola a esfera financeira e se traduz em danos sociais significativos. Com a possibilidade de agravamento dos eventos de escassez hídrica em decorrência da mudança do clima, tais **impactos podem se exacerbar e estressar ainda mais sistemas já considerados vulneráveis.**



Assim, o processo de definição do **sistema de interesse** para a aplicação da ACB proposta considerou o risco prioritário a ser abordado, no caso eventos de escassez hídrica, e regiões que, analogamente, fossem mais expostas e vulneráveis a tais eventos. O recorte espacial adotado é naturalmente a bacia hidrográfica, uma vez que esta é a principal unidade de gestão em recursos hídricos sob incidência de políticas públicas coordenadas à mitigação dos riscos de escassez.

Dentro do território nacional, o Nordeste do país constantemente se destaca por sua suscetibilidade a desastres naturais, que se dão em decorrência de suas condições hidroclimáticas e vulnerabilidade biofísica. Além disso, a região apresenta padrões de ocupação e desenvolvimento que, neste contexto, a tornam igualmente vulnerável no âmbito socioeconômico. Dessa forma, a **bacia hidrográfica federal dos rios**

Piancó-Piranhas-Açu surge como sistema de interesse, por se localizar no núcleo do semiárido setentrional – onde suas características se fazem máximas – e emergir como um dos perímetros de grande fragilidade frente aos fatores mencionados.

Nesse contexto, o semiárido é foco de diferentes ações governamentais para promover a convivência com a seca em diferentes esferas. A Análise Custo-Benefício condu-

zida, já tinha, portanto, o risco prioritário a ser abordado, em função de seu caráter urgente e evidente.

A gestão de sistemas hidrológicos permeia duas questões centrais: a quantidade e a qualidade da água. Dado que, na região de interesse, o risco prioritário diz respeito essencialmente à quantidade de água, o foco da ACB esteve exclusivamente em avaliar como a escassez desse recurso pode penalizar a região e como medidas de adaptação têm o potencial de minimizar seus efeitos.

Além do risco de escassez, há muitas vezes, o risco de inundação, sendo pertinente conduzir análises diferenciadas e complementares para todos os riscos identificados.

Aspectos climáticos, hidrológicos e estruturais da bacia

A bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu encontra-se localizada no semiárido setentrional entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, região que, em decorrência de uma conjunção de fatores climáticos e geológicos, apresenta um regime de precipitação caracterizado por expressivas variações intra e interanuais.

Constituída essencialmente como um sistema de reservatórios integrados, na bacia existem 51 unidades estratégicas (e mais de 2.300 açudes menores), sendo que cerca de 70% da capacidade de armazenamento de água da bacia é concentrada entre seus três maiores reservatórios, Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (Assu), no Rio Grande do Norte; Coremas/Mãe d'Água, e Engenheiro Ávidos, ambos na Paraíba. A bacia não conta com rios perenes e as características geológicas da região dificultam a recarga de água subterrânea (ANA, 2016).

Nesse sentido, as taxas intensas de evaporação no semiárido são capazes de esvaziar, nos meses sem precipitação, os açudes menores, bem como anular a vazão regularizada de açudes de maior porte, consumindo expressiva parcela do volume armazenado (ANA, 2016). Esse quadro evidencia uma região de extremos climáticos, condição que afeta diretamente o gerenciamento dos recursos hídricos.



Durante os períodos secos, açudes menores se esvaziam, e os maiores, em decorrência do desequilíbrio entre precipitação e evaporação, não conseguem manter o fluxo projetado para a perenização. Já nos períodos chuvosos, como a precipitação excede muito o poder de armazenamento dos reservatórios, estes chegam a verter volumes de água superiores às suas respectivas capacidades. Tal configuração é agravada pela persistência dos anos de cheia e, principalmente, dos de seca, que ocorrendo de maneira sequencial, estressam os sistemas hídricos a níveis críticos (ANA, 2016).

FORÇANTES CLIMÁTICAS ATUANDO NO NORDESTE

Três sistemas meteorológicos atuam no clima do Nordeste, as Ondas ou Perturbações de Leste, as Frentes Frias e, agindo mais especificamente na região do semiárido e respondendo diretamente pelos padrões de precipitação, a Zona de Convergência Intertropical (ZCTI). O posicionamento e intensidade da ZCTI são determinados por variações na temperatura superficial do oceano em regiões específicas do Atlântico Norte e Sul, que podem ser influenciadas pelas águas do Pacífico Oriental e pela costa oeste da América do Sul.

Nesse contexto, fenômenos como o El Niño/Oscilação do Sul (ENOS) e o Dipolo do Atlântico afetam particularmente a quantidade de chuva incidente no semiárido, sendo estes responsáveis por grande parte das flutuações de precipitação registradas na zona de irradiação das secas e havendo estudos que indicam correlações de até 90% entre a atuação desses fenômenos e a marcante variabilidade observada.

Séries históricas de diferentes parâmetros hidrológicos indicam que, dos 28 anos nos quais foram registradas secas regionais, 21 coincidiram com o El Niño. Por outro lado, apesar do El Niño ter sido observado apenas em 1 dos 11 anos chuvosos identificados, 5 dos 9 anos extremamente chuvosos registrados ocorreram concomitantemente ao fenômeno, revelando sua contribuição na propagação de eventos extremos. (ANA, 2016)

CONTEXTO LOCAL E HISTÓRICO DA QUESTÃO HÍDRICA NA BACIA DOS RIOS PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU

O semiárido setentrional se caracteriza principalmente pelo regime de precipitação intermitente, em que toda a precipitação ocorre essencialmente nos meses de fevereiro a maio, e o restante do ano é definido pela escassez de chuva e consequente condição de aridez. A discussão acerca da escassez de água, e eventualmente dos efeitos das secas severas, no semiárido, está principalmente relacionada com a forma como tal recurso se distribui no tempo e entre as estruturas físicas e humanas lá instaladas.

Desde o início da ocupação do semiárido brasileiro, as políticas públicas voltadas para a permanência da população e desenvolvimento de uma economia local, fundamentada em grande parte na agricultura, envolveram, quase que de maneira exclusiva, a construção de reservatórios e açudes. De fato, tal infraestrutura proporcionou maiores condições de convivência no sertão, diminuindo os impactos causados pela seca e permitindo a expansão das comunidades lá fixadas (Campos, 2015).

Historicamente, aproximadamente em intervalos de dez anos, a precipitação esperada para a quadra chuvosa anual não atinge os níveis normais. Quando tal conjuntura se repete por anos sequenciais, geralmente de dois a três anos, se configura a seca. Nesses momentos, a população fica dependente exclusivamente da água que já estava armazenada nos reservatórios e cisternas. A seca faz parte da dinâmica local, mas tais padrões de ocorrência antes observados começam a se transfigurar, de forma que mudança do clima pode condicionar a região a secas mais longas, menos espaçadas e possivelmente mais severas.

A atual crise hídrica, com início em 2012 e que começa, somente agora em 2018, dar indícios de seu fim, já é uma das mais longas registradas. Adicionalmente, o Nordeste é indicado como uma das regiões mais susceptíveis aos impactos da mudança do clima. Por combinar vulnerabilidade biofísica e social, o semiárido é foco de diferentes ações governamentais. Como resultado, o cenário clássico de retirantes do sertão já não é a regra, e mesmo após seis anos de seca intensa, a população conseguiu permanecer na região. Tais avanços devem continuar de forma a promover, cada vez mais, a capacidade adaptativa das populações que habitam regiões susceptíveis ao risco climático.

O período das variações de chuva intra-anuais é consolidado. Em contrapartida, as variações interanuais se distribuem de maneira menos evidente, alternando anos de seca e cheia que se configuram em função de elementos pouco mapeados e compreendidos, dificultando o exercício de previsão desses fenômenos.

O eixo perenizado

Os três principais reservatórios da bacia – Engenheiro Armando Ribeiro Gonçalves (Assu), Coremas/Mãe d'Água, e Engenheiro Ávidos – viabilizam a perenização do rio Piranhas e constituem o denominado Eixo Perenizado, apresentado na Figura 3.2. Apenas estruturas que, como essas, possuem elevada capacidade de estoque, conseguem manter a regularização interanual, sendo responsáveis por grande parcela da água disponível, especialmente nos períodos de seca.



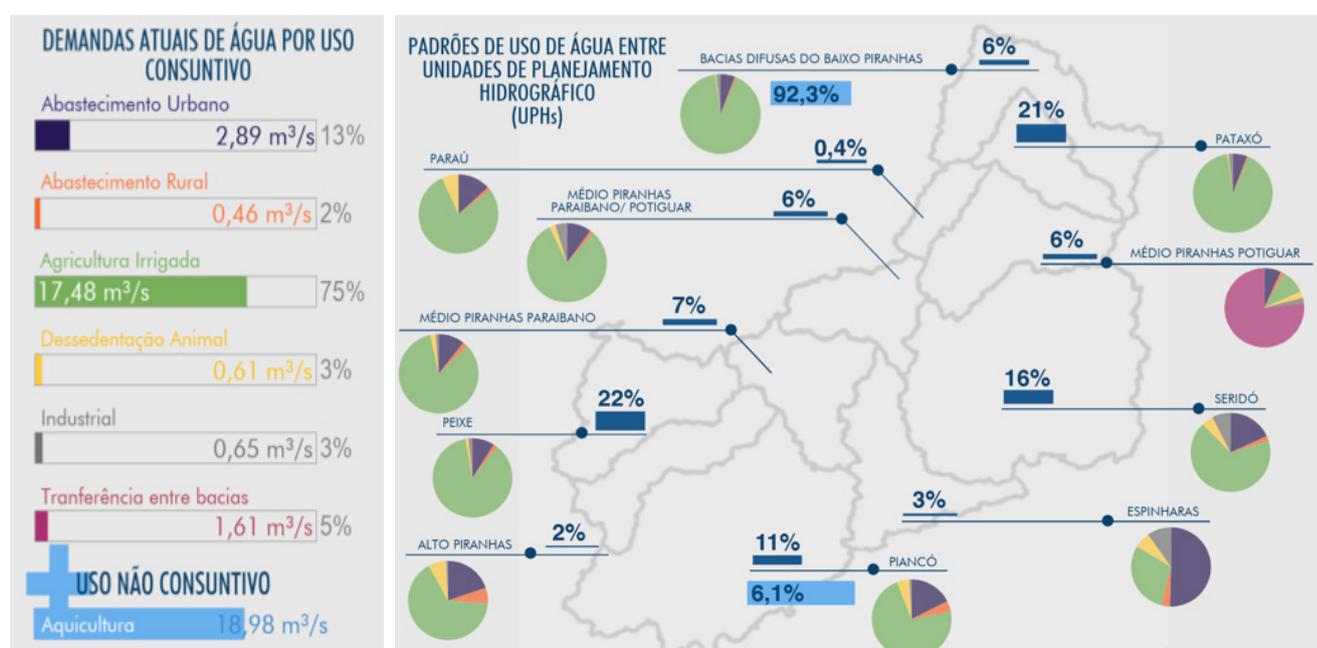
Os aspectos mencionados demonstram a importância do eixo, de forma que parte estratégica do fornecimento de água depende da gestão adequada dessas estruturas. O eixo perenizado se configura quase como a espinha dorsal da infraestrutura hídrica da bacia. No total, **123 municípios estão conectados de alguma forma a esses três reservatórios, totalizando 79% do território da bacia**. Tais estruturas são a própria expressão do planejamento hídrico local e tanto suas abrangências quanto suas lacunas expõem a relevância e os desafios da gestão dos recursos hídricos no semiárido.

ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E PERFIL DAS ATIVIDADES PRODUTIVAS

Os setores usuários foram definidos considerando-se a expressividade de cada atividade na bacia. Usos consuntivos se dividem entre **abastecimento urbano e rural, transferências de água entre bacias**, que se destina essencialmente ao suprimento da população dos estados vizinhos, **agricultura irrigada, dessedentação animal e indústria**. Como uso não consuntivo foi considerada a **aquicultura**.

A bacia abrange 155 municípios entre os estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, totalizando uma população de 1,55 milhão de habitantes, dos quais 68% encontram-se na área urbana (IBGE, 2010). Em função de características regionais e para fins de gestão dos recursos hídricos, sua área é subdividida em 11 Unidades de Planejamento Hidrológico (UPH), que direcionam as regiões foco de políticas públicas e ações do governo local para coordenação e melhor alocação de recursos.

Abaixo é apresentado como se distribuem as demandas hídricas entre os setores usuários relevantes e nas UPH que compõem o território da bacia.



Segundo o último dado disponível, a nível municipal, o Produto Interno Bruto da bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu é de R\$ 12,10 bilhões. Em termos de Valor Agregado Bruto por tipo de atividade, o 1º setor é responsável por 4,4% do total, o 2º setor com 24,3% e o 3º, mais expressivo, que detém 71,3%. (IBGE, 2016)

Destaca-se que o setor agropecuário apresenta importante papel na economia da bacia, ocupando expressiva área de 2,8 milhões de hectares distribuídos entre criação de animais (55% da área total) e a agricultura (censo agropecuário de 2006 apud ANA, 2014). Esse perfil se reflete na demanda por água, onde a agricultura irrigada responde por 75% do total.

Os dados demonstrados pelo valor adicionado da atividade primária suprimem parte substancial do valor que o setor gera. Esse excedente é contabilizado pelo setor industrial, na conhecida agroindústria, que envolve o beneficiamento da produção, por mais que isso se dê de forma bastante simplificada, como uma pré-triagem de produtos e acondicionamento em embalagens.

A tabela abaixo apresenta as principais características de cada setor produtivo presente na bacia.



PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS ATIVIDADES PRODUTIVAS

Agricultura Irrigada

A atividade se divide entre lavouras temporárias (36%) e permanentes (5%). Das culturas temporárias que mais ocupam área cultivada, estão o feijão e o milho (43%). Já, entre as culturas permanentes, o caju ocupa a maior área, com destaque também para a banana e para o coco-da-baía. Merece destaque a produção agrícola irrigada. Os perímetros irrigados públicos estão localizados a jusante da barragem Armando Ribeiro Gonçalves.

Pecuária

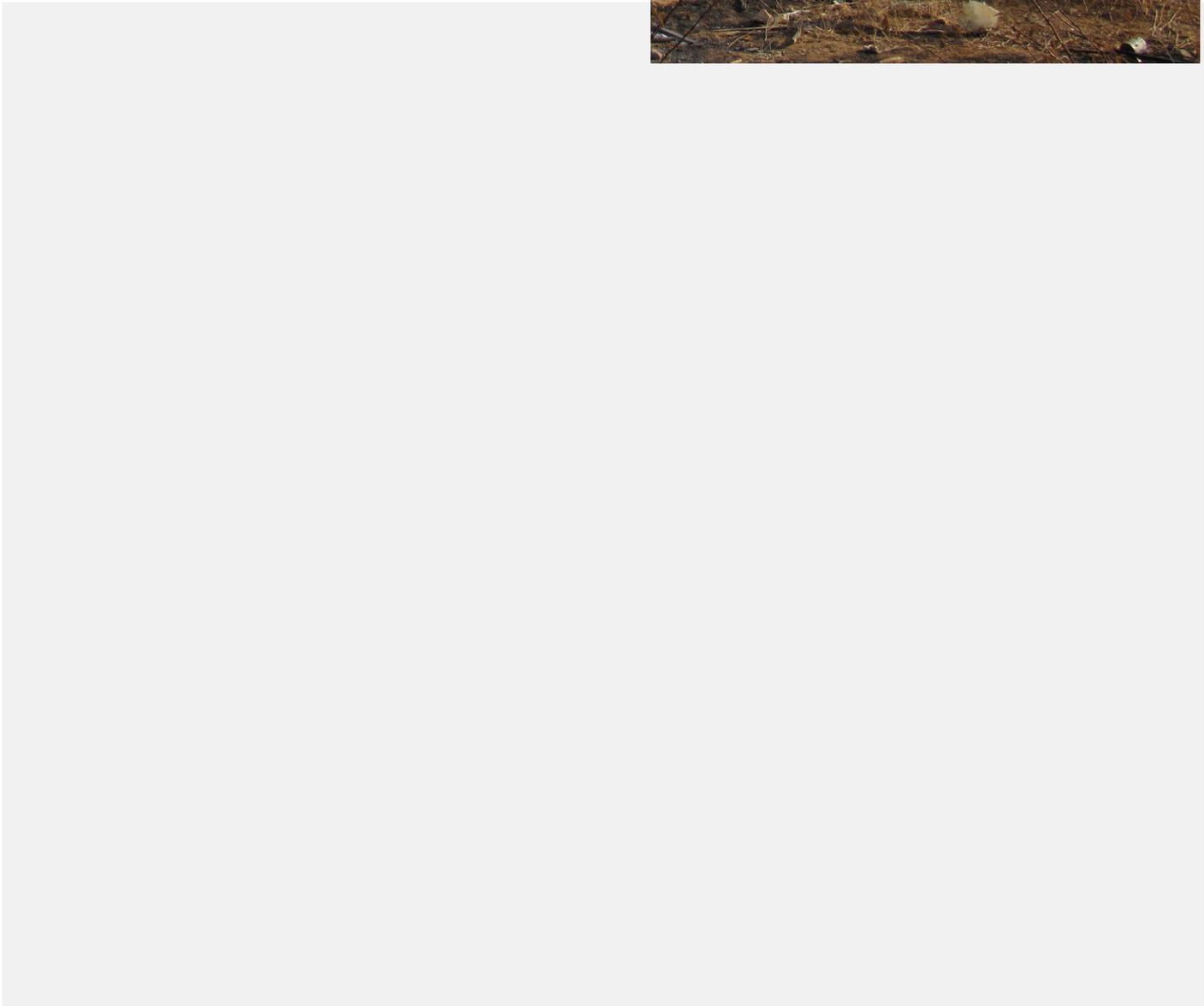
A pecuária destaca-se pela avicultura, seguida pela criação de bovinos, por fim, os ovinos, caprinos e suínos, em ordem decrescente em termos de tamanho dos rebanhos. A atividade está presente em todo o território da bacia, em diferentes concentrações.

Indústria

A indústria na bacia não detém grande importância relativa. Não obstante, tem-se atividade de exploração mineral, especialmente de sal, petróleo e gás. Complementam esse quadro, a produção têxtil, e os setores de curtumes, cerâmica, laticínios e aquicultura, notadamente a produção de camarão. Além disso, a extração de petróleo e gás natural é uma atividade de grande importância na bacia e na economia do Rio Grande do Norte, em função dos royalties.

Aquicultura

A carcinicultura teve considerável expansão na região a partir da década de 1990, que representou o marco inaugural do cultivo comercial em larga escala e tornou o Rio Grande do Norte o maior produtor nacional (ANA, 2016).



4

ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO NA BACIA HIDROGRÁFICA DOS RIOS PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU





ETAPAS DA ACB: APLICANDO CONCEITOS NO SISTEMA HIDROLÓGICO ESCOLHIDO

Os recortes geográficos adotados buscaram compatibilizar, a partir de diferentes fontes, aqueles de interesse do ponto de vista hidrológico e socioeconômico. Assim, os cálculos econômicos e hidrológicos realizados, bem como os resultados obtidos, são organizados por **município e setorialmente**. O horizonte temporal de análise abrangeu o **período iniciado em 2016, prolongando-se até 2065**, de forma a considerar um intervalo de tempo razoável para os desdobramentos potenciais da mudança do clima, sem se distanciar excessivamente da fronteira pertinente à tomada de decisão.

Nesse sentido, na primeira etapa da ACB, as condições inicialmente estabelecidas foram simuladas de maneira contínua para os próximos 50 anos, não sendo consideradas ainda possíveis medidas de adaptação no período, ou seja, mantendo constantes os padrões atuais de consumo de água. Apesar de não ser provável, tal ponderação

representa o cenário de referência necessário às próximas etapas, dado o propósito comparativo de uma ACB, configurando assim uma **situação conjetural de déficit hídrico potencial**.

A ACB antecede uma virtual implantação, sendo necessários estudos complementares. A análise conduzida não pretende um diagnóstico, ou prognóstico, intenso da região, mas estabelecer parâmetros consistentes que a representem de maneira significativa, possibilitando a aplicação de uma ferramenta de priorização de medidas.

Por fim, a **bordagem por cenários** permeia todas as etapas do estudo. Tal estratégia parte da percepção de que, dada a crescente incerteza associada à mudança do clima, os desdobramentos de aspectos climáticos e socioeconômicos são variados e dificilmente antecipados em todas as suas complexidades. Ou seja, considerar uma única hipótese de futuro para a avaliação de medidas de adaptação não garante que as alternativas priorizadas se sustentarão, caso a conjectura se mostre diferente daquela inicialmente assumida.

Nesse contexto, se as medidas forem estudadas em diferentes situações possíveis e, igualmente, plausíveis, que abarquem um espectro razoável de incertezas, elas irão compor estratégias de adaptação mais robustas. Assim, buscou-se estabelecer um arranjo de cenários climáticos e econômicos, bem como

avaliar outros fatores de incerteza, de forma a reconhecer os elementos incertos que podem fragilizar a análise, gerindo-os de maneira proativa.

ETAPA 1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO FÍSICO

A Análise Custo-Benefício proposta começa com a caracterização do Risco Físico, que é dado a partir da interação entre os cenários climáticos e econômicos. Os cenários climáticos representam o **perigo que estressa os sistemas hídricos da região**, e que se agravará em função da mudança do clima. Por outro lado, os cenários econômicos traduzem a **vulnerabilidade interna dos sistemas** hídricos, representada pelas demandas por água de cada um dos setores usuários relevantes.

Projeções socioeconômicas e demandas hídricas futuras

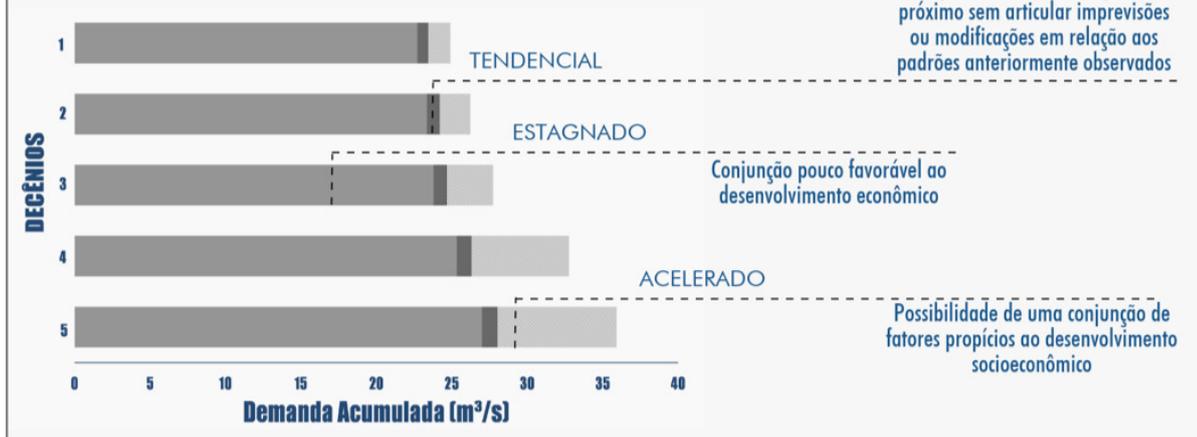
A quantificação do Risco Físico é dada a partir da interação entre os fatores de vulnerabilidade do sistema – bacia hidrográfica – e do perigo de escassez hídrica. Esses fatores de vulnerabilidade podem ser internos ou externos aos fatores socioeconômicos. O primeiro passo foca na determinação do principal elemento interno de vulnerabilidade do sistema: a demanda futura por água dos diferentes setores usuários expostos à escassez hídrica potencial.

Para se projetar no futuro os padrões de uso de água na bacia, primeiramente é realizado o levantamento das demandas atuais dos usuários lá relevantes. Na sequência, são definidos elementos balizadores – representantes das interações sociais e econômicas – que demarcam as trajetórias futuras das demandas de cada setor. Tais elementos balizadores se dão a partir da dinâmica socioeconômica da bacia, ou seja, de indicadores populacionais e de produtividade, sendo que cada setor usuário estará relacionado tanto a uma dinâmica específica própria, quanto a outra mais global.

Cada setor usuário teve sua demanda atual quantificada a partir das fontes relevantes a seu determinado perfil. A composição das demandas foi realizada no nível municipal. As demandas atuais são então projetadas para os próximos 50 anos a partir da projeção de seus elementos balizadores. Tais elementos, estabelecidos como indicadores populacionais e de produtividade, são projetados a partir de três cenários econômicos, representando distintas conjunturas socioeconômicas futuras, apresentados nas Figura 4.1 a seguir.

Cenários econômicos

4.1



AGRICULTURA DE SEQUEIRO

A agricultura de sequeiro é uma atividade de expressiva relevância na bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu. Grande parcela da área plantada na região, e consequentemente de sua produção, advém dessa prática de cultivo que, além de exercer função de subsistência, responde por grande parte do valor agregado produzido. Assim, para o semiárido, tal dinâmica sustenta importantes fatores sociais e econômicos. Uma vez que a produtividade de tal atividade depende exclusivamente da precipitação incidente na plantação, a agricultura de sequeiro é especialmente vulnerável a potenciais variações hidroclimáticas. Dessa forma, a possibilidade de a mudança do clima impactar os níveis dessa produção, uma vez que presumivelmente irá alterar o volume e distribuição das chuvas, é elevada.

O presente estudo, por sua vez, concentrou-se nos efeitos dos eventos de escassez sobre o sistema hídrico delimitado pelo conjunto de reservatórios integrados, e das atividades que deles dependem, que agrupadas, correspondem à parcela mais significativa da produção econômica.

Assim, o risco climático quantificado não inclui a agricultura de sequeiro, já que esta não se relaciona com as estruturas que prioritariamente sustentam a dinâmica da bacia. Observa-se, no entanto, a pertinência da atividade, sendo indicada sua consideração em estudos complementares que eventualmente sejam conduzidos na região.

Cenários climáticos de vazão futura

Os cenários climáticos são responsáveis por representar a componente específica da mudança do clima. Considerando as possíveis alterações na disponibilidade de água nos próximos anos, é por meio dos cenários climáticos e sua tradução para vazões futuras, que se estabelecem as conjunturas hidrológicas em potencial que irão estressar o sistema hídrico. É nesta etapa que a abordagem por cenários se fez mais pertinente, direcionando o desenvolvimento da metodologia empregada.





Estudos anteriores realizados na região da bacia do Piancó-Piranhas-Açu permitiram um caminho alternativo, em contraposição às tradicionais modelagens preditivas, para o entendimento das possíveis variações hidrológicas provocadas pelas mudanças do clima. Dessa forma, os dados disponibilizados por esses estudos de apoio foram empregados no sentido de, por meio de uma análise criteriosa e contextualizada, comporem cenários climáticos futuros diversificados que conferissem a abrangência necessária no âmbito do planejamento sob incerteza.

Tal metodologia se desprende, ao reconhecer sua impossibilidade em fazê-lo, da pretensão de prever o futuro mais provável e concentra-se, por outro lado, em encontrar a estratégia de planejamento que melhor responda aos diferentes possíveis e plausíveis futuros. Assim, **a composição dos cenários de vazão futura considerou a análise integrada dos resultados produzidos por um número amplo de Modelos Climáticos Globais (MCG).**

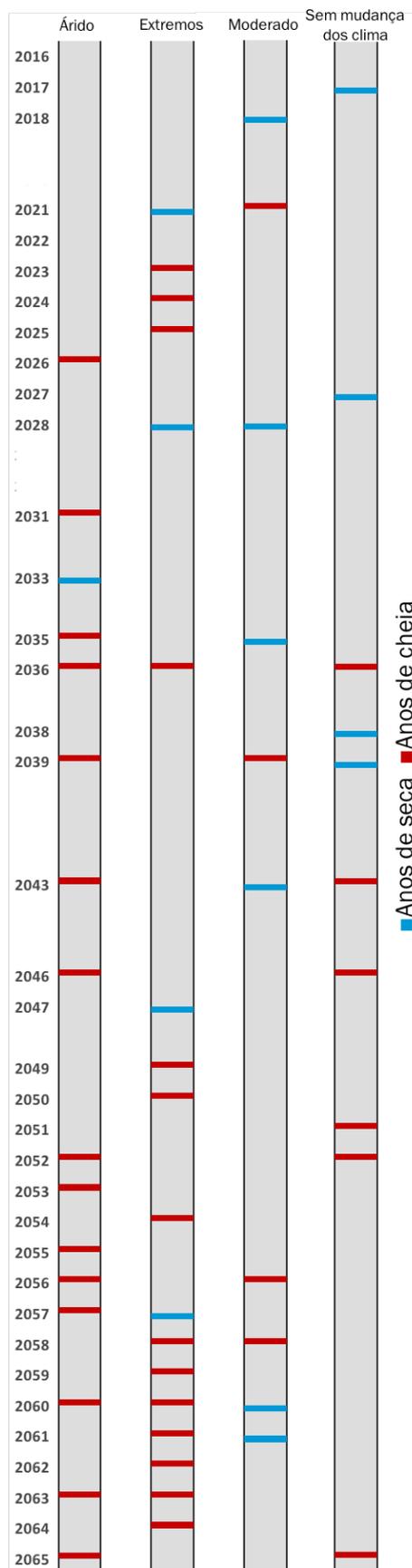
Esses modelos fornecem como resultado séries passadas e futuras para uma gama de variáveis hidroclimáticas, como precipitação e evaporação, de uma determinada área em questão. Na metodologia empregada, especificamente, foram utilizados dados de vazão produzidos a partir de modelagem hidrológica conduzida com base nos resultados de 21 modelos do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) simulados em dois cenários de RCP, no entorno dos dois maiores hidrossistemas da bacia, Coremas – Mãe d'Água e Armando Ribeiro Gonçalves.

Nesse sentido, foi definido que os cenários de clima futuro buscariam contemplar o máximo de situações possíveis. A partir desse reconhecimento, foram selecionados

As modelagens preditivas são realizadas por meio dos Modelos Climáticos Globais (MCG ou GCM, na sigla em inglês). Os MCG são modelos numéricos construídos para simular os processos físicos, e suas interações, que ocorrem na atmosfera, no oceano e na superfície terrestre, em função do aumento de concentração de gases do efeito estufa e que condicionam o clima no globo (IPCC, 2014).

Representative Concentration Pathways (RCPs) são as trajetórias de concentração de gases do efeito estufa adotadas no AR5-IPCC (Fifth Assessment Report – Intergovernmental Panel on Climate Change) para a realização das modelagens climáticas e pesquisas relacionadas. Os RCPs se dividem em quatro cenários possíveis de diferentes concentrações (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5), sendo mais comumente analisados o 4.5 e o 8.5 (IPCC, 2014).

Cenários Climáticos 4.2



os modelos a serem tomados como representativos das **tendências observadas como majoritárias** entre os MCG, reproduzindo um conjunto de cenários amplo o bastante para abarcar as indefinições do futuro sendo delineado. Uma tendência observada, por exemplo, é que 70% dos modelos analisados indicaram eventos de escassez de água mais intensos e frequentes.

Desse processo, emergiram três cenários climáticos de vazão futura, apresentados na Figura 4.2, e definidos por suas características específicas:

- **Árido** - cenário mais seco de todos, com episódios prolongados de escassez hídrica e que aumentam progressivamente com o tempo.
- **Extremos** - extremos hidrológicos se agravam positiva e negativamente, ou seja, secas intensas periódicas e sequenciais, intercaladas em alguns momentos por chuvas muito fortes.
- **Moderado** - contraponto aos cenários mais graves, agindo de maneira estratégica no âmbito comparativo, inclusive com os cenários econômicos. Nele os padrões observados historicamente são continuados havendo apenas um sensível aumento das condições de escassez.

Ao não se limitar a apenas um modelo, ou futuro, esta abordagem propõe expandir os resultados das modelagens de clima de maneira consistente com uma aplicação prática, fornecendo subsídio para o planejamento sob incerteza.

Ressalta-se ainda que, a título de comparação, foi considerado também um quarto cenário denominado *Sem Mudança do Clima*, o qual pretende retratar um futuro em que não haveria influências da mudança do clima, ou seja, os padrões de vazão repetem aqueles observados no passado.

Alocação hídrica e cenários finais de Risco Físico

As interações entre as demandas hídricas projetadas para cada setor usuário, principal componente de vulnerabilidade futura do sistema exposto, e os cenários de oferta de água sob influência das mudanças do clima, que traduzem o perigo hidroclimático, resultam no risco de escassez potencial para a região, expresso pelos **déficits hídricos** de cada setor usuário no espaço da bacia e no tempo de 50 anos.

Para obter tais déficits, as demandas hídricas e os cenários de vazão futura alimentaram o sistema de suporte à decisão, AcquaNet, que aloca a água disponível de acordo com as prioridades de uso estabelecidas, simulando o atendimento dos usuários presentes na bacia e a consequente distribuição do recurso hídrico disponível.

A combinação entre quatro cenários climáticos – um reproduzindo parâmetros históricos, como referência para a hipótese de não haver mudança do clima, e três representando potenciais variabilidades hidroclimáticas – em conjunto com três cenários socioeconômicos, resultou na simulação de um total de **12 cenários de distribuição e disponibilidade hídrica**. Observa-se que nem todos os cenários simulados foram adotados na análise do Risco Físico, de forma que se selecionou um **arranjo final de cenários pertinentes**.

Sistema de Suporte à Decisão LabSid AcquaNet 2013, desenvolvido no Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da USP - LabSid. A ordem de prioridade adotada para atendimento das demandas foi: abastecimento urbano; abastecimento rural; transferências para outras bacias; dessedentação animal; irrigação; industrial e aquicultura

SELECIONANDO CENÁRIOS FINAIS PERTINENTES À ANÁLISE

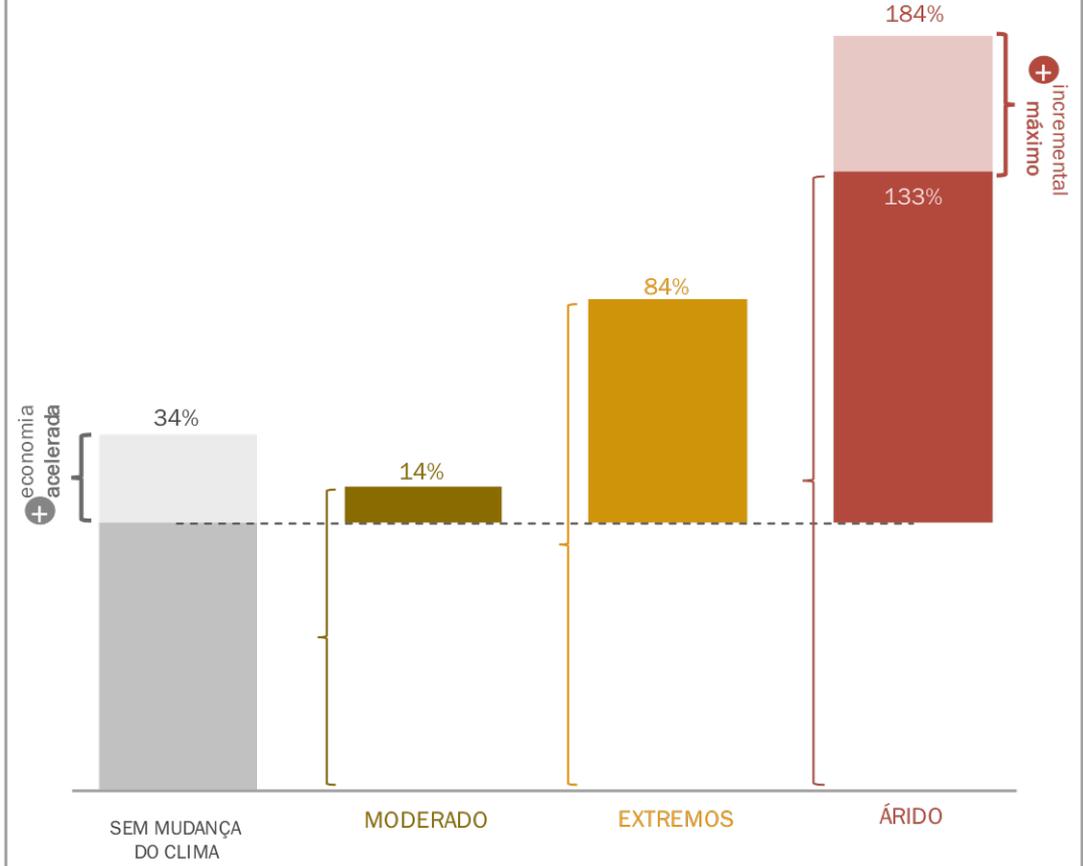
Os 12 cenários resultantes das possíveis interações entre clima e economia representam um espectro variado de configurações de Risco Físico. Observa-se, no entanto, que não é necessário aprofundar todas as possibilidades simuladas, uma vez que suas contribuições individuais, quando contrapostas entre si, não oferecem conclusões diferenciadas o bastante. À vista disso, selecionou-se aqueles que, ao constituírem um conjunto final, compõem um arranjo funcional de situações de interesse.

Nesse sentido, foi observado que as simulações que tiveram como base socioeconômica o cenário Estagnado se assemelhavam ao cenário Tendencial. Dessa maneira, optou-se por tomar o cenário Tendencial como base comparativa de análise, variando-se apenas os diferentes cenários climáticos – Sem Mudança do Clima, Moderado, Extremos e Árido – sob uma mesma premissa socioeconômica.

Por outro lado, manteve-se, adicionalmente, o contexto socioeconômico Acelerado para os cenários Sem Mudança do Clima e Árido, estabelecendo-se tais conjunturas como situações limites para a avaliação de elementos econômicos, permitindo identificar patamares e analogias: no primeiro caso para quando tais elementos são examinados individualmente e, no segundo, a situação crítica tanto socioeconômica quanto climática, posta de forma hipotética.

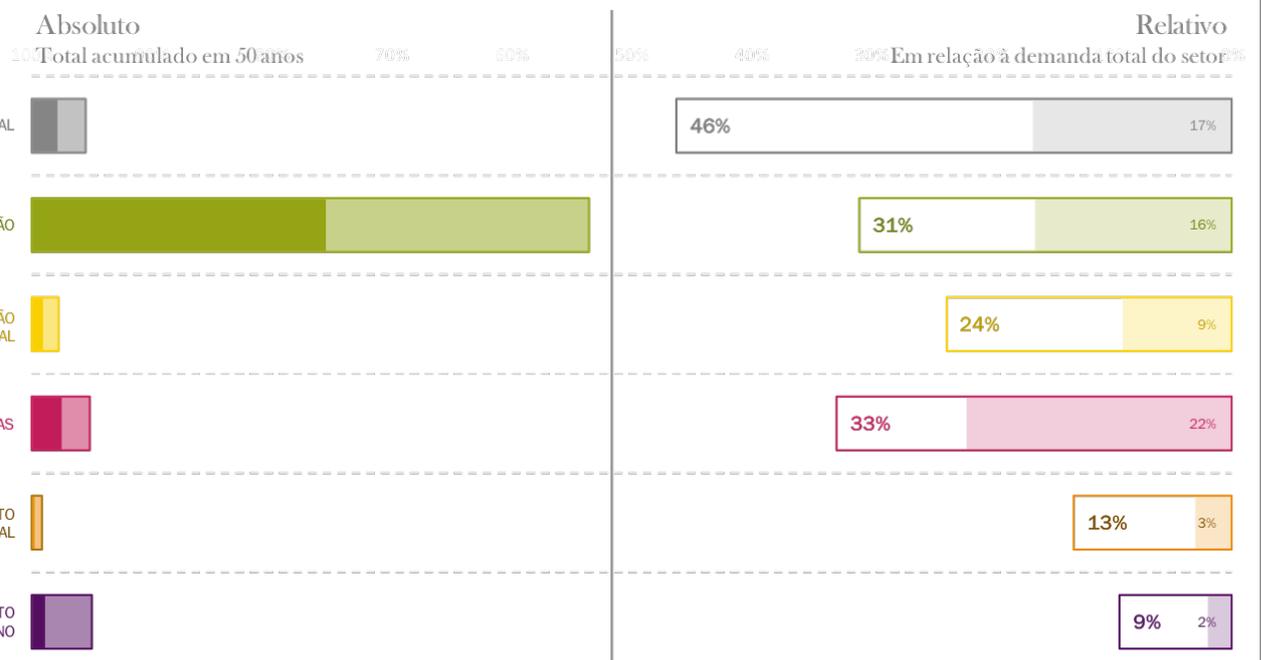
Variação do déficit hídrico por cenário climático 4.3

Total acumulado em 50 anos



Déficit hídrico por setor usuário 4.4

Expressos em máximos e mínimos



ETAPA 2 - CÁLCULO DO RISCO CLIMÁTICO TOTAL

Os valores de **déficit hídrico** – distribuídos temporalmente, espacialmente e setorialmente na bacia – obtidos pela simulação dos cenários socioeconômicos e climáticos, **configuram o Risco Físico** ao qual a região está exposta, especificado na Etapa 1. Em posse desses valores, a segunda etapa da ACB proposta consiste na **estimação das perdas econômicas decorrentes de tais déficits**.

Considerando os sistemas humanos que fazem uso da água, um evento de escassez hídrica é passível de gerar, em diferentes níveis, perdas econômicas diretas e indiretas. O exercício de estimar tais perdas associadas a um evento crítico, no caso alterações na disponibilidade hídrica em função da variabilidade climática, facilita a assimilação de seus possíveis danos sem subestimar sua profundidade e complexidade, auxiliando assim o processo de tomada de decisão.

Nesse sentido, a estimativa representada pelo Risco Climático Total não pretende capturar todo o valor econômico potencialmente perdido em razão de tais eventos, mas funcionar como **referencial para a quantificação dos benefícios**, ou seja, da perda evitada, por cada uma das medidas adaptativas a serem analisadas na etapa seguinte.

O Risco Climático Total é a soma da perda econômica natural do desenvolvimento socioeconômico com a parcela incremental resultante das alterações climáticas. Ao fim, tem-se a magnitude da perda esperada no cenário base, ou seja, sem considerar a gestão do risco via implantação de medidas adaptativas.

TIPOS DE PERDAS ECONÔMICAS: DEFININDO O ESCOPO PERTINENTE À ACB

É necessário delimitar os tipos de perdas econômicas existentes e como elas se fazem pertinentes ou não no contexto da ACB. Tal divisão pode ser inicialmente feita de acordo com a incidência do impacto de um evento de escassez sobre a unidade de interesse, sendo definidas como perdas de 1ª ordem aquelas que atingem diretamente o recorte analisado (instalação, setor ou região) ou, na mesma linha, de 2ª e demais ordens como aquelas que ultrapassam tais limites e se caracterizam em função das consequências dos impactos sobre a ordem anterior.

Adicionalmente, classificam-se ainda as perdas em tangíveis e intangíveis, sendo as primeiras possíveis de serem traduzidas em unidades monetárias, geralmente decorrentes do uso direto de um bem ou serviço comercialmente transacionado em um mercado, enquanto as demais, complementarmente, se caracterizam pela subjetividade em relação ao seu valor econômico, uma vez que não são transacionadas em mercado, a exemplo dos impactos sobre a saúde, cultura e serviços ecossistêmicos.

Há ainda uma discussão em torno do número de métodos a serem empregados no processo de estimação de perdas, do nível de detalhamento atingido por cada um e da abrangência do serviço ou recurso valorado. Sobre isso, recomenda-se a utilização da melhor técnica disponível aplicada da forma mais aprofundada possível, em contraposição à utilização superficial de diversas técnicas com graus difusos de aprofundamento (Van Beukering, Zwartz, et al., 2005).

Estimando perdas econômicas: método função de produção

Diferentes métodos econômicos podem ser empregados para a tradução de parâmetros físicos em monetários, de forma que a escolha da técnica mais apropriada dependerá dos limites espaciais e temporais de interesse e, sobretudo, do objetivo da análise. Considerando eventos de escassez no contexto da ACB, a complexidade dos fatores sociais e econômicos impõe uma **abordagem que permita a análise comparativa consistente dos resultados**, mesmo que isso implique na estimação de apenas uma fração das perdas e de seu potencial de impacto econômico sistêmico.

Em especial, numa ACB, a adoção de um método que funcione a partir de uma ótica *bottom-up*, permite que na etapa seguinte, em que são avaliadas as medidas adaptativas, cada influência física e econômica seja capturada com a sensibilidade imperativa à comparação e, posteriormente, à priorização de alternativas. Com esse objetivo norteador, e sabendo que tais medidas se darão e serão sentidas essencialmente no nível dos usuários diretos da água, define-se então que o cálculo econômico deve estimar, da mesma forma, as perdas exatamente destes usuários (agricultores, aquicultores, criadores de animais, indústrias e sistema de abastecimento urbano e rural etc.).

- Abordagem “bottom-up”, ou abordagem de baixo para cima: faz-se uma síntese de subsistemas para se formar um sistema final. Ou seja, das partes para o todo. Requer dados específicos de cada atividade;

- Abordagem “top-down”, ou abordagem de cima para baixo: decompõe-se um sistema em seus diversos subsistemas, ou seja, do todo para as partes. Depende de séries históricas para traçar correlação entre as variáveis em nível mais macro.

Em outras palavras, a fim de se obter consistência e sensibilidade suficientes que permitam diferenciar as medidas de adaptação a serem avaliadas, o método empregado

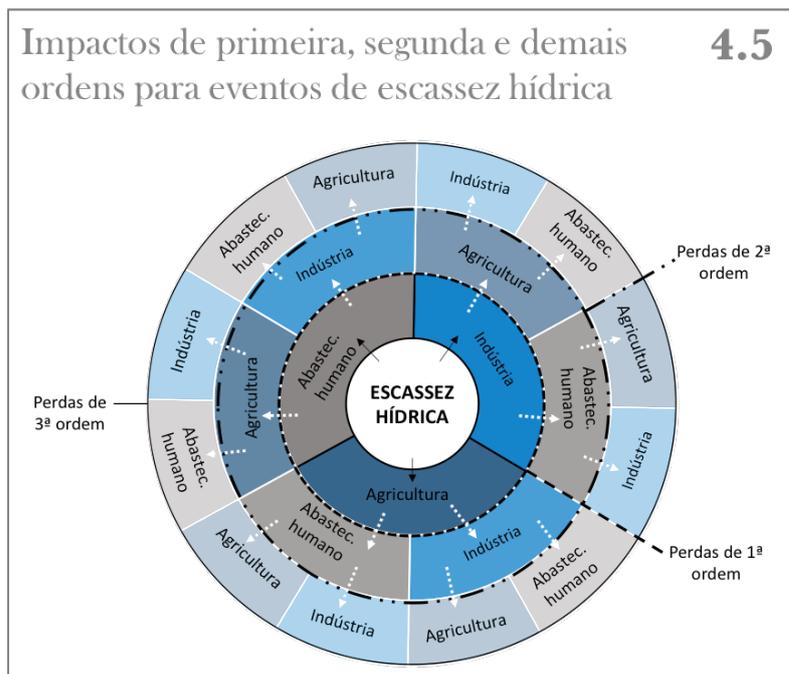
deve capturar prioritariamente **impactos tangíveis e, também, principalmente de 1º ordem**, em cada setor usuário. É importante observar que tais impactos ao usuário direto da água naturalmente afetam usuários indiretos, detendo assim efeitos de 2ª ordem, geralmente, muito superiores aos identificados na 1ª ordem.

O **método de função de produção** estabelece que na posse de valores de demandas e déficits hídricos, a passagem sistemática para perdas na produção considera que o insumo afetado – a água –, por um fenômeno adverso, no caso, sua escassez, irá impactar um determinado parâmetro do sistema produtivo de interesse. Esse parâmetro, por sua vez, afetará na mesma medida o volume de produto que seria gerado, bem como sua equivalente arrecadação em potencial, segundo o valor de mercado pago ao usuário direto da água.

O exercício de estimação de perdas econômicas associadas a eventos de escassez revela o custo hipotético da ocorrência de tais fenômenos para de-

terminada atividade. Para tanto, de acordo com o método escolhido, tem-se em que medida **um déficit de água afetará a produção de determinado bem ou serviço e, conseqüentemente, o valor monetário por ela gerado** sob essa nova condição.

Nesse sentido, a quantificação da perda econômica pressupõe a comparação entre o que seria produzido na condição normal de operação do sistema e a parcela deste afetada pelo evento adverso. Eis que a produção habitual de um setor é exatamente o valor da atividade por ele desenvolvida. Observa-se que o método de função de produção irá assumir uma determinada específica em função do setor usuário sendo avaliado, de maneira que o cálculo da perda esperada dependerá de como se dá a relação de tal setor com a água que adentra sua produção.

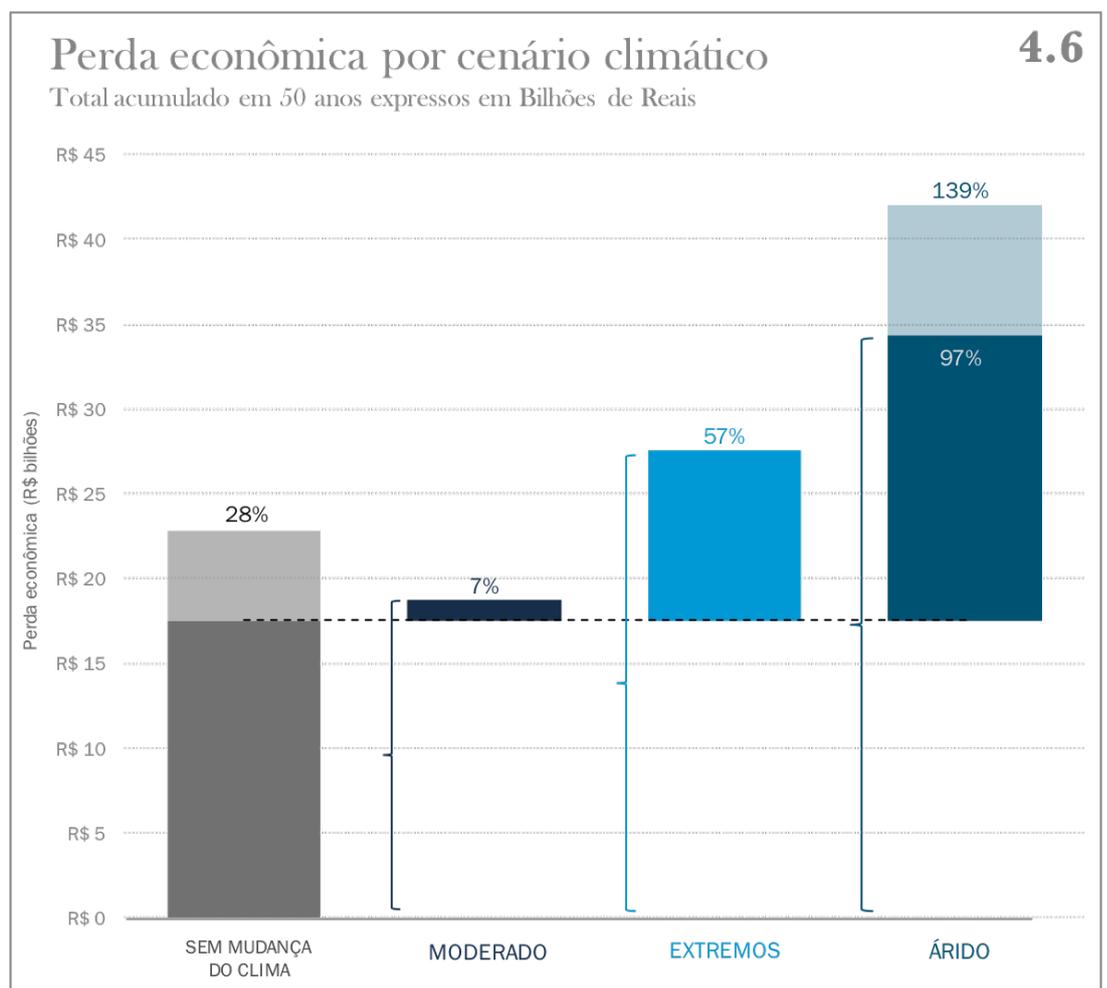


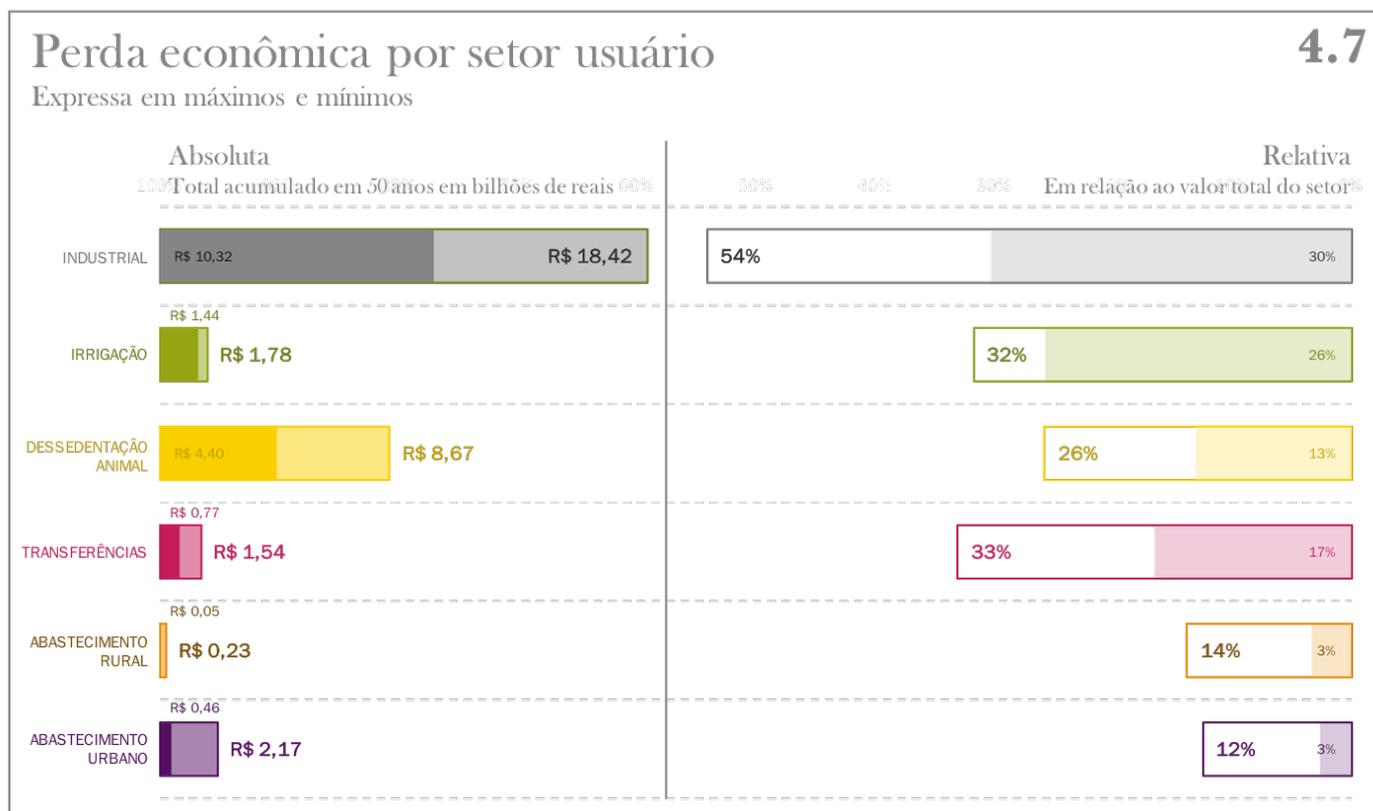
VALOR DA ATIVIDADE E OS DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMAÇÃO

A forma com que se considera o valor da atividade variará de acordo com o método de estimação econômica empregado na análise, de maneira que tal valor siga a mesma segregação de ordens de impacto dos métodos aos quais se aplica. No presente estudo, faz-se relevante o entendimento de dois métodos, sendo o segundo empregado apenas em caráter comparativo:

- Método função de produção: Captura o valor das atividades em 1ª ordem, ou seja, o valor que os usuários diretos da água geram, considerando-se o preço pago ao produtor, mediante a utilização de tal recurso em suas funções produtivas.
- Método Custo de Reposição ou Custo de Substituição: Captura os valores para além da 1ª ordem, refletindo o uso direto e indireto da água. Tal quantificação considera o valor da atividade ao preço de mercado, e não ao preço do produtor. A lógica de derivação desse valor é a mesma para todos os setores usuários, e baseia-se na relação entre o valor total da produção versus aquele gerado por cada setor de atividade econômica específica.

Ao se demonstrar o valor da atividade, estabelece-se a ordem de grandeza dos impactos associados aos eventos de escassez hídrica, estipulando-se um parâmetro de importância relativa dentro do contexto determinado pelo método de estimação empregado.





ETAPA 3 - AVALIANDO MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Medidas de adaptação na bacia do Piancó-Piranhas-Açu

A bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu conta com um Plano de Recursos Hídricos (ANA, 2016a) que identifica algumas ações e intervenções (programas, projetos e medidas emergenciais) merecedoras de investimentos na bacia no horizonte entre 2013 e 2032 e, assim, subsidia a gestão local dos recursos hídricos (ANA, 2014). As ações identificadas nesses documentos oficiais configuraram, naturalmente, ponto inicial de partida para o levantamento de medidas a serem consideradas na Análise Custo-Benefício.

Além disso, a equipe de pesquisadores envolvida com o estudo esteve presencialmente na bacia ao longo do mês de dezembro de 2016, percorrendo 22 cidades nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, entrando em contato e conversando com

moradores e gestores locais a respeito das alternativas usualmente e potencialmente empregadas para reduzir os impactos de eventos de escassez hídrica.

As medidas identificadas até então, bem como as novas ideias, foram discutidas e acordadas com o corpo técnico da Agência Nacional de Águas, delineando aquelas com maior probabilidade de adoção e refinando os parâmetros associados àquelas selecionadas para terem seus custos e benefícios estimados. Adicionalmente, a partir de experiência prévia na bacia dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ) (GV-CES, 2014), foram levantadas outras medidas, em particular associadas ao uso de água para abastecimento urbano.

Como comparar medidas em uma análise custo-benefício

Uma ACB busca permitir a comparação entre diferentes medidas/ações disponíveis aos tomadores de decisão. Entretanto, para que essa comparação seja apropriada, é necessário estabelecer uma base comum às medidas e garantir métodos de análise e parâmetros de modelagem similares para todas elas.



Em primeiro lugar, deve se levar em consideração qual o problema que se busca responder, entender como as medidas eliminam (ou reduzem) potenciais impactos associados, neste caso, à escassez de água, para então observar seus custos e benefícios com relação ao objetivo comum. Esses custos e benefícios são observados ao comparar um cenário sem a aplicação de medida alguma e outro com a adoção bem-sucedida de uma medida em questão (GVces, 2014).

Em análises conduzidas em caráter anterior ao acontecimento do evento sendo analisado e para períodos distantes no futuro, é necessário observar e agregar os resultados para todos os instantes entre o início e o término do período de análise. Tal prática é realizada por meio da adoção de uma taxa de desconto, de forma a **trazer todos os custos e benefícios a valor presente**, ou seja, transformar valores que se apresentam distribuídos no tempo,

em um único montante que traduza o potencial sendo investido ou retornado, em termos de valor observado no momento atual.

Assim, é possível observar e comparar as medidas de adaptação a partir de três métricas:

- **Valor Presente Líquido (VPL):** diferença entre os benefícios (B) e os custos trazidos (C), ambos, a valor presente (B - C). Essa métrica compara as medidas em termos absolutos;
- **Relação Custo-Benefício (RCB):** razão entre o valor presente dos custos e benefícios (C/B). As medidas com razão positiva e inferior a 1 são tidas como custo-benéficas (B > C). Essa métrica permite um ranqueamento relativo entre as medidas; e
- **Taxa Interna de Retorno (TIR):** taxa de desconto para a qual os valores dos benefícios de determinada medida trazidos a valor presente sejam iguais aos custos (também trazidos a valor presente). Quanto maior a TIR de uma medida, mais desejável ela é.

A taxa de desconto adotada como base é a taxa de juros real de financiamento de longo prazo do Governo Federal, definida em 5,64% a.a. Faz-se também análise de sensibilidade ao considerar diferentes taxas de desconto, desde -1% até 16% a.a.

No presente exercício são computadas apenas a primeira e segunda métricas.

O ato de descontar eventos futuros, mediante a aplicação da taxa de desconto positiva, significa que é atribuído um peso menor àqueles eventos mais distantes no tempo. Tal prática é recomendada por dois motivos: i) Custo de oportunidade do capital, que reflete os benefícios (líquidos) de investir os recursos em vez de consumi-los; e ii) Preferências temporais, que refletem o desejo dos indivíduos de receber benefícios mais cedo e não mais tarde.

Historicamente, Análises Custo-Benefício residiam na esfera da avaliação de investimentos, mas gradualmente passaram também a constar do repertório para análises de políticas públicas. Dessa maneira, as métricas sugeridas acima são baseadas na eficiência econômica de diferentes cursos de ação, isto é, buscam evidenciar quando os benefícios de uma intervenção excedem seus custos (Pearce, 1998).

Sobre os cenários climáticos e econômicos

Assim como nas etapas anteriores, para o cálculo do Risco Físico e do Risco Climático Total, a terceira etapa da ACB de avaliação de medidas de adaptação, segue trabalhando com os mesmos cenários climáticos e socioeconômicos definidos anteriormente. Nessa etapa da análise, entretanto, apenas os resultados sob o cenário

econômico “Tendencial” serão apresentados, uma vez que o cenário “Acelerado” tem função apenas de embasar a discussão teórica em torno do risco potencialmente existente, não trazendo conclusões de ordem prática para a análise de implementação de medidas.

SOBRE COBENEFÍCIOS

Algumas medidas podem apresentar benefícios (ou custos) correlatos (indiretos), uma vez que sua adoção pode interferir de diferentes formas em um mesmo sistema. Entretanto, a ACB se propõe a comparar todas as medidas em relação a um objetivo comum. Isto significa que, ao se tentar incluir possíveis cobenefícios trazidos por determinadas medidas, como o aumento do valor econômico gerado em função da alteração de perfil de determinada atividade, a base comparativa definida fica comprometida.

Estabelecer a quantificação dos benefícios a partir de origens não homogêneas, diferentes do abatimento do déficit e incremento de valor econômico, por exemplo, pode gerar distorções. Por outro lado, é necessário atentar que o benefício calculado considera apenas a influência hídrica da medida e seu respectivo abatimento na redução de perdas econômicas, sendo pertinente, quando da análise de implementação, avaliar outros aspectos.

Assim, a consideração de cobenefícios pode ser feita de forma qualitativa em uma análise multicritério. Igualmente, outras considerações, como as de caráter ético, podem ser discutidas em análises posteriores, não compondo as premissas básicas da ACB.

Sobre o horizonte temporal

Ainda que cada medida de adaptação considerada em uma ACB possa ter suas especificidades, é necessário que as bases e racionais aplicados para cada uma conservem certa coerência entre si. Nesse sentido, tendo em vista o horizonte temporal e o objetivo da análise realizada para a bacia, estipula-se, por exemplo, que todas as medidas tenham sua implementação iniciada em 2016 e sigam em aplicação até 2065 (período de 50 anos). A premissa considera o **momento atual para a tomada de decisões, que deve ocorrer tão logo possível.**

Isso significa que a decisão de implementar uma medida e suas ações decorrentes e necessárias começam a se desenrolar já em 2016. Porém, naturalmente, uma estrutura ou novo padrão de funcionamento não começa imediatamente a entrar em operação, já proporcionando seus benefícios associados. Assim, buscou-se abarcar as características particulares para a efetivação de cada medida, conservando-se certa coerência entre suas temporalidades.

Nesse sentido, estipulou-se que todas as medidas estariam operando plenamente ao final de 10 anos, variando-se o horizonte de acordo com suas complexidades particulares e tempo necessário para tal. Dessa forma, é reconhecida a natureza distinta das

medidas, natureza esta que se relaciona diretamente com a dimensão e distribuição de seus custos e benefícios. Por fim, tanto os custos quanto os benefícios são, dessa maneira, estimados para todos os anos, nesse intervalo de tempo, para cada uma das medidas.

INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS E O PESO DO FUTURO

Cabe notar que não é factível prever o surgimento de inovações tecnológicas que possam consideravelmente alterar os padrões de extração, reservação e consumo de recursos hídricos, embora elas certamente ocorram e continuarão ocorrendo. De fato, o reconhecimento das dificuldades em estipular os benefícios e custos de tecnologias que sequer foram concebidas (ou adotadas em larga escala) é uma das razões pelas quais o foco está na tomada de decisões no presente, de forma a estabelecer uma base temporal comum para a comparação. Na prática, todavia, indivíduos podem optar por esperar momentos mais oportunos no futuro para tomar suas decisões.

Adicionalmente, embora o horizonte temporal seja de longo prazo e, portanto, implique em algumas limitações, tem-se, na aplicação da taxa de desconto, a consideração sobre o peso dado para tal futuro, que é necessariamente mais incerto e menos preponderante na tomada de decisões. Nesse sentido, a comparação das medidas de adaptação se dá a partir da linha de base que ilustra a situação da replicação do clima passado no futuro – também trazendo consigo os riscos climáticos associados à inação.

Sobre a quantificação dos benefícios

Os benefícios de cada medida são observados conforme esta reduz os déficits hídricos – seja pelo aumento da oferta, via redução da demanda, reúso de água ou redução de perdas na distribuição, seja pelo aumento da eficiência alocativa – esperados no futuro, em comparação com o cenário sem a aplicação dessa medida.

Uma vez que os benefícios das medidas de adaptação são obtidos a partir da diferença entre as perdas esperadas no cenário com a aplicação da medida frente ao cenário de base (sem quaisquer medidas adaptativas), ou seja, correspondem às perdas evitadas pela medida, **as premissas gerais para o cálculo se mantêm as mesmas daquelas especificadas nas etapas 1 e 2 da ACB**. Tem-se a aplicação, portanto, do mesmo método de valoração econômica para estimação da resposta de cada atividade vinculada aos setores usuários da bacia. Da mesma forma, utilizou-se o sistema de suporte à decisão AcquaNet.

Sobre o cálculo dos custos

A diferença entre as perdas econômicas nos cenários sem e com a adoção da medida adaptativa equivale aos seus benefícios, as perdas evitadas. Já seus custos são direta-

A maneira como os benefícios foram alocados durante o período de implementação variou de acordo com a natureza da medida. Algumas só começam a gerar benefícios quando completamente finalizadas. Outras, tiveram seus benefícios alocados de maneira linear durante todo o horizonte.

mente calculados a partir das necessidades de investimentos para a implantação (em um primeiro momento) e da operação e manutenção (em momentos posteriores) de tal solução.

O cálculo dos custos das medidas adaptativas, embora com características únicas associadas a cada medida, da mesma forma que os benefícios, é baseado e norteado por uma série de premissas comuns, que busca manter a coerência da análise, mesmo para intervenções com perfis consideravelmente variados.

Testes de sensibilidade e incerteza

Nessa terceira etapa da ACB são contempladas, além dos cenários possíveis de clima já considerados, variações sobre duas outras dimensões pertinentes ao cálculo da Relação Custo-Benefício das medidas: i) a sensibilidade à taxa de desconto; e ii) incertezas acerca dos custos das medidas (na bacia em questão).

PREMISSAS PARA O CÁLCULO DOS CUSTOS DE CADA MEDIDA

- Custos de implantação de todas as medidas são distribuídos linearmente ao longo do tempo desde seu início até sua conclusão;
- Custos de operação e manutenção também são distribuídos proporcionalmente a partir do ano de início até os 100% de implantação, quando passam a ser considerados integralmente;
- Valores relativos a custos de implantação (Capex) são atualizados pelo Índice Nacional de Custo de Construção (INCC);
- Valores relativos a custos de operação e manutenção são atualizados pelo Índice Geral de Preços do Mercado (IGP-M);
- Todas as medidas começam a ser implementadas a partir de 2016;
- Reservatórios e açudes só têm custo de implantação (Capex);
- Obras de maior porte/complexidade são estimadas requerendo dez anos para sua implantação total, salvo sugestão de literatura ou informações coletadas na bacia em contrário;
- Obras de menor porte/complexidade são estimadas como requerendo cinco anos para sua implantação total, salvo sugestão de literatura ou informações coletadas na bacia em contrário; e
- Práticas e tecnologias adotadas em nível individual são adotadas gradualmente ao longo de cinco anos (20% dos usuários adotam no primeiro ano, outros 20% no segundo ano etc.).

Como apresentado nos procedimentos para a realização da etapa 2, **a taxa de desconto adotada como base é a taxa de juros real de financiamento de longo prazo do Governo Federal**. Tal escolha reflete o tratamento comum conferido ao investimento em adaptação à mudança do clima a partir de um viés de investimento público. Aqui, no entanto, foram conduzidos testes de sensibilidade, para refletir outros vieses e preferências da sociedade com relação ao tratamento de gerações futuras.

A depender da distribuição dos benefícios e custos de cada medida ao longo do tempo, alterações nas preferências temporais do tomador de decisão (ou da sociedade) podem fazer com que as medidas passem a ser mais ou menos atrativas. Por exemplo, uma medida que apresenta seus custos concentrados no presente (curto-prazo) e seus benefícios concentrados no futuro distante (longo-prazo) torna-se menos custo-benéfica à medida que se adota taxas de desconto maiores (valorizando-se mais o presente).

Portanto, foi calculada a Relação Custo-Benefício (RCB) das medidas para diversas taxas de desconto, permitindo inclusive que o tomador de decisão identifique a atratividade de todas as medidas de acordo com suas preferências. Foram obtidas as RCB para todas as medidas desde uma taxa de desconto de -1% a.a. (atribuindo maior peso aos acontecimentos futuros) até 16% a.a. (atribuindo maior peso a acontecimentos recentes).

Outra fonte de considerável incerteza é a projeção de custos das medidas no contexto específico da bacia no presente e no futuro. Para lidar com essa incerteza, a análise contempla uma banda de custos para cada medida, admitindo que possam ter sido subestimados ou superestimados em até 15%. Ao computar os limites inferior (- 15%) e superior (+15%) dessa banda, é possível observar a RCB das medidas em condições tanto otimistas, quanto pessimistas.

Novamente, a variação desses parâmetros em uma ACB (de forma uniforme entre as medidas) permite a identificação das medidas que se revelam mais custo-benéficas para toda uma gama de cenários climáticos, taxas de desconto (preferência temporal) possíveis e espectros de custos associados. Tendo em vista a necessidade de priorização de esforços para alocar recursos escassos, os testes de sensibilidade podem, então, ajudar a refinar o processo de tomada de decisão.

Simulação em tempo contínuo: tratamento dos resultados

A modelagem de custos e benefícios associados à implementação de medidas de adaptação abarca diferentes dimensões espaciais e temporais. Como apresentado, a alocação de água na bacia foi simulada, de maneira contínua, entre os anos de 2016 e 2065. Portanto, os resultados consistem em déficits hídricos mensais, por município e setor usuário.

Assim, a análise dos resultados pode tomar diversos formatos. Segundo discussões prévias, a ACB é capaz de identificar potenciais questões distributivas, no entanto, o ranqueamento final das medidas não expressa tais especificidades. Dessa forma, tanto os custos e benefícios, quanto a razão deles resultante, são apresentados de maneira agregada para a bacia, ou ainda, entre os sete setores usuários considerados. Esses dados agregados se constituem a partir da somatória dos resultados mensais de 50 anos.

Ao se agregar e comparar os resultados no nível da bacia, podem ser mascaradas características específicas da ação da medida sobre o sistema, em função de sua abrangência territorial, setorial e, até mesmo, temporal. Apesar disso, faz-se necessário agrupar os resultados uma vez que assim se estabelece uma base comparativa palpável e objetiva, atendendo ao objetivo maior de priorização de medidas.

O detalhamento dos efeitos de uma medida para além de sua RCB é pertinente em um segundo momento, quando de uma análise que pretenda, além de identificar medidas, reconhecer contribuições individuais para a composição de uma estratégia integrada de adaptação. Até essa etapa do estudo, o foco esteve em apresentar, de maneira comparativa, os resultados de uma potencial implementação isolada, quantificando seus benefícios máximos associados.

BENEFÍCIOS NEGATIVOS

Em alguns casos, certas medidas resultaram em benefícios negativos, ou seja, após sua implementação houve aumento da perda econômica total da bacia. Tal fenômeno pode ser justificado a partir dos efeitos sinérgicos da redistribuição de água no território entre os setores usuários. É importante ressaltar que nesses casos não é possível obter a razão custo-benefício da medida, uma vez que não houve benefício líquido. Essas medidas, portanto, não são incluídas no âmbito dos resultados finais da ACB, podendo, no entanto, revelar conclusões posteriores quando de uma análise mais detalhada.

Na prática, será executado um grupo de medidas que interajam de forma coerente. O estudo desta coerência deve, portanto, abordar os efeitos sinérgicos entre as medidas. Tal diagnóstico pertence a uma segunda fase de análise, ao considerar um conjunto de ações que já tenha se revelado pertinente. O aprofundamento de aspectos distributivos, dos efeitos sinérgicos e a formulação de estratégias de adaptação foram realizados posteriormente à con-

clusão da avaliação de medidas característica da terceira etapa, sendo apresentados nos capítulos 6 e 7 desse documento.

A abordagem por cenários se constitui em um elemento importante na busca de um planejamento robusto em adaptação. É reconhecido, no entanto, que tais cenários representam apenas conjunturas de interesse, e não acontecimentos prováveis. Nesse sentido, a interpretação dos resultados e consequente tomada de decisão não deve estar apegada a nenhum cenário específico.

MEDIDAS ADOTADAS E SUAS ALTERNATIVAS

O conjunto de medidas de adaptação escolhidas para análise resultou da consulta de variadas fontes de informação, bem como de diferentes processos de entendimento da realidade local. Nesse contexto, concluiu-se que algumas medidas implicavam em diferentes possibilidades de implementação. Dessa forma, entre as medidas contempladas há aquelas que exploram mais de uma configuração para sua aplicação. Tais variações podem estar relacionadas à abrangência da medida, parâmetros técnicos específicos ou ainda cenários potenciais de operação.

Para a apresentação dos resultados consolidados da ACB, optou-se, na maior parte dos casos, por incluir apenas a configuração mais custo-benéfica e com as premissas mais relevantes dentre as alternativas avaliadas para uma mesma medida, bem como compor um arranjo final interessante.

Por esse motivo, optou-se por apresentar os resultados a partir dos valores máximos e mínimos obtidos entre os cenários considerados, não se fazendo distinção dentre eles. Essa escolha decorre da intenção em se avaliar não especificamente o desempenho em cada cenário, mas os limites em que se encontram seus benefícios potenciais.

Sabendo-se disso, é possível obter com essa forma de representação uma gestão mais prática da incerteza. Tal opção permite a visualização de como eventuais incertezas podem afetar a atratividade de uma medida, reforçando uma abordagem que se propõe a identificar medidas *no-regrets* e *low-regrets* e, portanto, oferecer melhores insumos ao processo de tomada de decisão. Medidas *no* e *low-regret* foram entendidas aqui como alternativas que se sustentam custo-benéficas em diferentes cenários e dimensões de incertezas.

É preciso reconhecer que cada medida irá responder de maneira diferente em cada cenário. Da mesma forma, um cenário pode ao mesmo tempo ser mais prejudicial para um setor e mais benéfico para outro. Desses efeitos sinérgicos resulta que, muito provavelmente, os benefícios máximos de cada setor não irão ocorrer de maneira concomitante em um mesmo cenário.

Uma medida *no-regret* é custo-benéfica em diferentes cenários de clima, socioeconomia, custos e taxas de desconto. Medidas *low-regret* se sustentam custo-benéficas em grande parte desses critérios, mas não todos.

Medidas de adaptação selecionadas para a ACB

Medidas de adaptação variam de acordo com seu objetivo em relação à disponibilidade e/ou distribuição de água ou com o seu foco de atuação, variando este entre os diferentes usuários presentes na região.

A tabela abaixo apresenta as categorias utilizadas para classificação das medidas de adaptação.

CATEGORIAS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

	CATEGORIAS	DEFINIÇÃO
OBJETIVO	Aumento de Oferta	Medidas que se utilizam de fontes de água ainda não exploradas na bacia, por exemplo, o aumento da capacidade de reservação.
	Redução de Demanda	Medidas que buscam reduzir o consumo de água pelos usuários para um mesmo nível de produção.
	Redução de Perdas	Medidas que visam reduzir quaisquer perdas (reais ou aparentes) nos sistemas de distribuição de água.
	Reúso	Medidas que objetivam tratar e reutilizar água já empregada para algum uso prévio.
	Alocação Eficiente	Medidas que buscam alterar o padrão de consumo hídrico entre diferentes atividades, aumentando a participação de usos que geram maior valor (econômico).
FOCO DE ATUAÇÃO	Grandes Obras	Medidas cuja implementação é essencialmente viabilizada através de obras estruturais, como reservatórios, plantas de dessalinização e obras de redução de perdas na distribuição.
	Usos Difusos Rurais	Medidas cuja implementação é focada na área rural e seus usuários mais difusos, como pequenos agricultores e pequenos municípios. Exemplos: poços, cisternas.
	Grandes Irrigantes	Embora também em área rural, a implementação se dá a partir de grandes irrigantes mais concentrados e com foco no consumo de água da sua produção agropecuária, como a adoção de novas tecnologias de irrigação.
	Usuários Urbanos	Medidas implementadas em ambientes urbanos pelos seus usuários, como a captação de água pluvial em residências ou incentivos econômicos para redução de consumo de água da rede.
	Industrial	Medidas implementadas pelos usuários industriais de água visando redução, reúso ou geração de oferta de água pelos mesmos.

As medidas de adaptação contempladas para a ACB conduzida para a bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu são apresentadas a seguir, com breve descrição de sua natureza e identificação, de acordo com as formas possíveis de classificação.

NOME DA MEDIDA

Reservatório de Oiticica e eixo de integração Seridó

Nome reduzido: Oiticica

DESCRIÇÃO / OBJETIVO

Aumentar a capacidade de reservação de água à montante do reservatório Eng^o Armando Ribeiro Gonçalves, direcionando-a, principalmente, para a sub-bacia do Seridó, núcleo de desertificação historicamente afetado pela escassez hídrica. Foram avaliadas duas alternativas para distribuição da água a partir de Oiticica: via perenização de leito de rio e por adutoras interligando as principais sedes urbanas, tendo a segunda se mostrado mais atrativa.

CLASSIFICAÇÃOAumento de
Oferta

Grandes Obras

ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA**NOME DA MEDIDA**

Reservatório de Serra Negra e eixo de integração Espinharas

Nome reduzido: Serra Negra

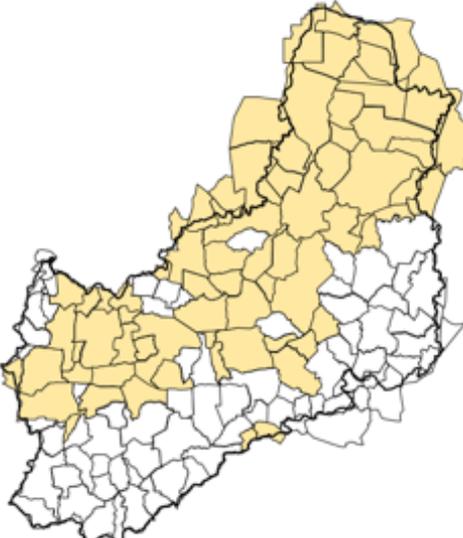
DESCRIÇÃO / OBJETIVO

Reservatório e conjunto de adutoras conectando as sedes urbanas dos municípios identificados como mais vulneráveis na UPH do Espinharas, direcionando parte da vazão regularizada em Serra Negra para abastecimento urbano e usos industriais. Esta medida foi avaliada considerando-se duas alternativas de capacidade para o reservatório. Dessa forma, pôde-se examinar o potencial de abatimento de déficits na UPH a partir da variação do volume de água armazenada, de maneira a definir uma meta adequada às demandas locais. Foi concluído que uma capacidade de 20% daquela definida para o reservatório de Oiticica poderia ser mais adequada.

CLASSIFICAÇÃOAumento de
Oferta

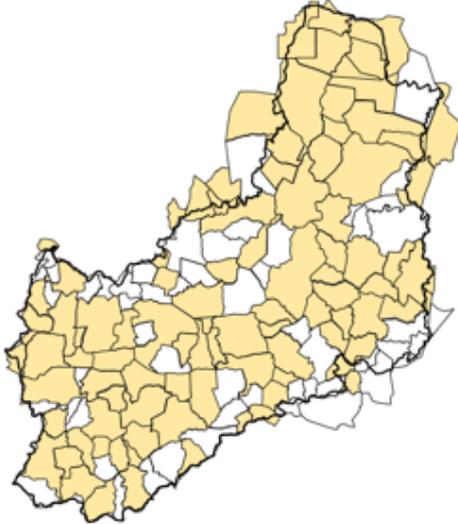
Grandes Obras

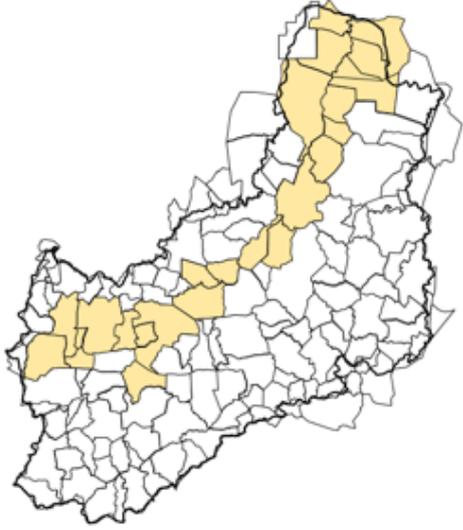
ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
Projeto de Integração do Rio São Francisco Nome reduzido: PISF	Aumento de Oferta Grandes Obras
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Esta medida tem o objetivo de examinar os potenciais efeitos do aporte de água a partir da bacia do rio São Francisco sobre os déficits hídricos da bacia. Para tanto, foi considerada a transposição da máxima vazão possível de ser direcionada para a bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu, definida em 54 m³/s. Por outro lado, essa água foi considerada como disponível para todos os usuários da bacia, em contraposição ao foco primeiro do PISF em usos prioritários. Tais premissas têm a intenção de captar o potencial máximo da transposição em gerar benefícios, tanto econômicos quanto hidrológicos.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
Ampliação da capacidade de reservação de água em açudes de terceira ordem na Paraíba Nome reduzido: Açudes	Aumento de Oferta Grandes Obras
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Pretende aumentar a reservação de água nas regiões de cabeceira, possibilitando sua melhor distribuição ao longo do território. O plano de recursos hídricos da bacia do Piancó-Piranhas-Açu sugere a construção de 14 novos açudes (e ampliação de dois existentes) na Paraíba, com média capacidade de armazenamento. Os açudes objetivam uma maior regularização intra-anual, contribuindo para o suprimento hídrico dos municípios onde estão localizados. Após uma primeira simulação, foi constatado que apenas dois açudes, dos inicialmente previstos, configuram-se como boas alternativas.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Planta de dessalinização de grande porte</p> <p>Nome reduzido: Planta Dessal</p>	<p>Aumento de Oferta</p> <p>Grandes Obras</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Fornecer uma nova fonte de água potável aos municípios pertos da costa marinha. Dado o caráter da usina, a princípio, como uma fonte inesgotável, sua capacidade foi definida como proporcional às demandas dos usos prioritários dos municípios a serem contemplados pelas adutoras que distribuirão a água tratada.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Redução de perdas na distribuição de água em áreas urbanas</p> <p>Nome reduzido: Perdas-rede</p>	<p>Aumento de Oferta</p> <p>Grandes Obras</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Propõe minimizar o desperdício hídrico por meio de práticas que reduzam os índices de perdas na rede de distribuição de água em centros urbanos. As perdas na distribuição podem ser reais, como vazamentos e problemas de manutenção, ou aparentes, decorrentes de uso não autorizado. A redução das perdas na rede envolve ações contínuas de busca, identificação e reparo de tais causas. A redução do percentual de perdas em uma rede de abastecimento irá requerer ações de diferentes naturezas. Entre elas, a instalação de micromedidores, expandindo o número de residências fiscalizadas de maneira apropriada, configura uma das possibilidades.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Redução de perdas em trânsito via adução paralela aos leitos de rios</p> <p>Nome reduzido: Perdas-trânsito</p>	<p>Aumento de Oferta</p> <p>Grandes Obras</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Uma vez que os corpos d'água na região semiárida não são naturalmente perenes, suas características hidrogeológicas não favorecem a manutenção de um fluxo contínuo, implicando em perdas de até 80%. Além disso, ao longo de seus cursos, o uso não autorizado da água que escoa livremente também compromete o abastecimento de populações à jusante. Por meio de adutoras interligando os principais reservatórios e transferindo água para atendimento dos usos prioritários, é possível reduzir tais perdas e garantir maior disponibilidade e melhor distribuição de água na bacia. Os benefícios mais expressivos da redução de perdas em trânsito se concentram no eixo perenizado, sendo esse o foco das adutoras propostas.</p>	

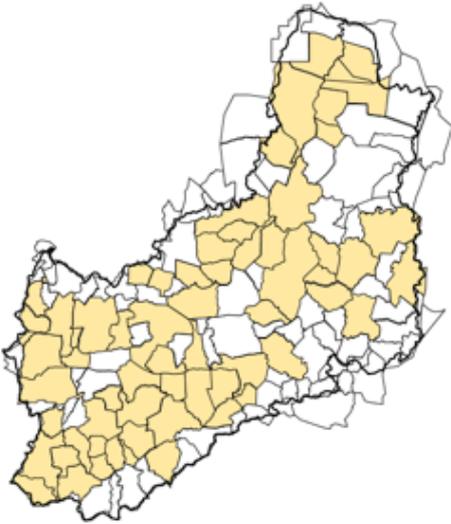
NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Perfuração de novos poços nas regiões de bacias sedimentares</p> <p>Nome reduzido: Poços</p>	<p>Aumento de Oferta</p> <p>Usos Difusos Rurais</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Visa aumentar a disponibilidade hídrica para usos rurais difusos a partir da exploração das reservas de água subterrânea nas regiões detentoras de aquíferos. O melhor aproveitamento das reservas dos aquíferos subterrâneos existentes na bacia possibilitaria a diminuição do estresse hídrico ao qual outras fontes, principalmente de captação direta e superficial, são submetidas. A água armazenada no solo, no contexto rural, é utilizada para fins múltiplos, como abastecimento humano, dessedentação animal e irrigação.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Instalação e recuperação de dessalinizadores em regiões de terreno cristalino</p> <p>Nome reduzido: Dessalinizadores</p>	<p>Aumento de Oferta</p> <p>Usos Difusos Rurais</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Instalação de unidades compactas de dessalinização distribuídas nas regiões da bacia onde o terreno é cristalino e, portanto, armazena água subterrânea salobra. A água retirada é empregada nos múltiplos usos rurais.</p>	

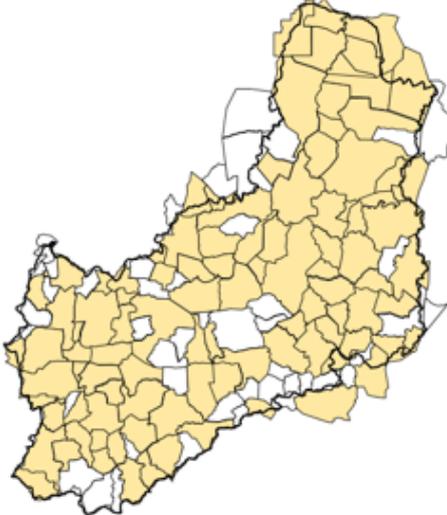
NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Construção de barragens subterrâneas em lotes rurais</p> <p>Nome reduzido: Barragens Sub</p>	<p>Aumento de Oferta</p> <p>Usos Difusos Rurais</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>As barragens são obstáculos posicionados transversalmente ao sentido de escoamento da água subterrânea, preferencialmente em regiões de aluvião, que visam aumentar a disponibilidade hídrica ao elevar o nível freático, constituindo-se em um reservatório que permite a retirada de água para diferentes usos. A estrutura permite a retenção hídrica no interior do solo, minimizando perdas por evaporação. Para a análise de implantação dessa medida, foram consideradas duas alternativas de configurações, a primeira abrangendo a extensão de aluvião dos principais corpos d'água, e a segunda contemplando também rios e riachos de menor porte. A segunda alternativa se mostrou potencial para benefícios mais elevados.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Instalação de cisternas-calçadão em propriedades rurais</p> <p>Nome reduzido: Cist.-calçadão</p>	<p>Aumento de Oferta</p> <p>Usos Difusos Rurais</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>As cisternas-calçadão se constituem em reservatórios com volume de 52 m³, associados a um calçadão de cimento com área de captação de 200 m². A água de chuva coletada e armazenada é utilizada principalmente para impulsionar a agricultura familiar, bem como outros usos rurais difusos. Foram consideradas duas possibilidades de instalação dos sistemas a depender do número de unidades instaladas na bacia. Tal abordagem pretende identificar a sensibilidade da medida ao número de sistemas implementados, uma vez que se reconhece que nem todas as propriedades estariam aptas ou interessadas em operar uma cisterna-calçadão. A alternativa em que somente metade das residências são contempladas se mostrou mais atraente, confirmando que o número de cisternas a serem implementadas deve ser estrategicamente pensado.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Atualização das tecnologias de irrigação em perímetros públicos</p> <p>Nome reduzido: Atual. de perímetros</p>	<p>Redução de Demanda</p> <p>Grandes Irrigantes</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>A medida propõe substituir tecnologias ultrapassadas e de baixa eficiência por outras que otimizem o consumo hídrico do irrigante (nos perímetros irrigados públicos). Havendo diferentes tecnologias de irrigação disponíveis, a relevância do sistema escolhido se dá em função dos fatores específicos de cada plantação. No entanto, algumas tecnologias comprovadamente ineficientes, podem ser prontamente substituídas por alternativas de igual efeito e significativo ganho em eficiência hídrica, como a modernização de irrigação por sulcos para por meio de aspersores.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Simulação do manejo eficiente das técnicas de irrigação</p> <p>Nome reduzido: Manejo Irrig.</p>	<p>Redução de Demanda</p> <p>Usos Difusos Rurais</p> <p>Grandes Irrigantes</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Pretende avaliar o potencial impacto do manejo eficiente da irrigação, considerando sua maior efetividade via automatização dos sistemas. Ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura, diferentes estágios de desenvolvimento, em conjunto com fatores climáticos específicos, se traduzem em necessidades dinâmicas de irrigação. Por meio de sensores é possível identificar tais necessidades, aplicando-se apenas o essencial para o crescimento adequado da planta.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Aplicação de efluente tratado proveniente de ETE na agricultura irrigada</p> <p>Nome reduzido: ETEs-Irrig.</p>	<p>Reúso</p> <p>Grandes Irrigantes</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>A medida promove o aproveitamento otimizado de efluentes urbanos, direcionando a água tratada para reúso na agricultura, oferecendo, assim, uma nova fonte de água para atender às necessidades deste setor. Respeitando-se padrões de qualidade, a aplicação da água resultante do processo de tratamento de esgotos urbanos na agricultura pode ser realizada sem restrições. Ao se reutilizar tais efluentes na irrigação evita-se perdas naturais e conflitos pelo uso dos recursos superficiais, otimizando a alocação hídrica em regiões de escassez. Foram consideradas duas configurações possíveis para essa medida, implantação dos sistemas assumindo-se a rede de coleta e tratamento de esgoto em sua condição atual e a possibilidade de sua expansão para municípios ainda não contemplados com potencial para reúso na irrigação. A primeira alternativa se mostrou mais atraente em função dos altos custos de expansão da rede de saneamento.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Reúso de efluentes na indústria</p> <p>Nome reduzido: Reúso Indústria</p>	<p>Reúso Industrial</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>Oferece um melhor aproveitamento das fontes de recursos hídricos disponíveis para atendimento das necessidades industriais por meio do tratamento e reúso dos efluentes de seus processos produtivos. A prática de reúso em uma indústria pressupõem a operação de uma unidade interna de tratamento de efluentes. O tratamento da água e subsequente retroalimentação nos processos da indústria, atendem (parcialmente) as necessidades da planta industrial, reduzem a dependência do setor em outras fontes (ex. companhias de abastecimento urbano) e, conseqüentemente, o retorno hídrico da atividade para a rede.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
<p>Reúso de água cinza residencial em áreas urbanas</p> <p>Nome reduzido: Água cinza</p>	<p>Reúso Usuários Urbanos</p>
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>A água cinza é o efluente residencial originário de chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupa. Por não representarem risco à saúde humana, podem ser reutilizadas em usos não potáveis, como no vaso sanitário. A medida visa oferecer um melhor atendimento das necessidades de abastecimento residencial por meio do reaproveitamento da água de rejeito em usos domésticos não potáveis, reduzindo, assim, a dependência dos domicílios junto às companhias de abastecimento urbano. Para tanto, são instaladas unidades individuais e independentes.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
Aproveitamento de água pluvial em áreas urbanas Nome reduzido: Pluvial urbano	Aumento de Oferta Usuários Urbanos
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>A instalação de estruturas de captação e armazenamento de água de chuva em residências urbanas representa uma fonte hídrica adicional para abatimento das demandas domésticas de caráter não potável, como a dos vasos sanitários. Assim, a medida pretende ser uma nova fonte de recursos hídricos para residências por meio da captação de água de chuva e sua utilização em usos não potáveis, reduzindo a dependência dos domicílios junto às companhias de abastecimento urbano. Para tanto, são instaladas unidades individuais e independentes.</p>	

NOME DA MEDIDA	CLASSIFICAÇÃO
Diferenciação da tarifa de água a partir de mínimo per capita Nome reduzido: Tarifa	Redução de Demanda Usuários Urbanos
DESCRIÇÃO / OBJETIVO	ÁREA DE ATUAÇÃO PRIMÁRIA
<p>A medida consiste em reduzir o consumo residencial urbano por meio do aumento progressivo da tarifa a partir de um mínimo estipulado. Atualmente, o consumo mínimo residencial (sujeito à tarifa mínima) é fixado em 10 m³. Ao se diminuir tal limite, o consumo tende a reduzir pois cada m³ acima do novo limite torna-se mais caro. Adicionalmente, estipula-se o aumento de 100% na tarifa para os demais blocos de consumo. Para que a medida seja efetiva, é necessária a instalação (adicional) de micromedidores de consumo.</p>	



Para além da ACB: medidas de adaptação exploratórias

Além das medidas elencadas acima, julgou-se interessante estimar os benefícios de outras ações cuja aplicação envolve elementos mais complexos e dificilmente contemplados em um estudo deste caráter e/ou para as quais os principais custos seriam de ordem política. Vale, contudo, apresentá-las brevemente e calcular o benefício potencial associado a elas, como indicativo de futuras frentes de pesquisa e discussão, ao menos em termos qualitativos. Os quadros compostos se dividem em três categorias de abordagens possíveis, sendo elas:

- Alteração das prioridades de abastecimento e restrição de demanda para setores usuários: propôs-se a alteração de ordem de prioridade entre o setor de irrigação e os setores industriais e/ou de aquicultura. Adicionalmente, simulou-se a restrição do abastecimento da atividade de aquicultura que, mesmo sendo um uso não consuntivo, demanda considerável parcela de água na região em que é desenvolvida.
- Alteração (fundamental) dos perfis de consumo na bacia: esse grupo considerou a adoção de culturas e animais mais adaptados às condições climáticas do semiárido.
- Abastecimento rural inteiramente feito por caminhões-pipa: essa possibilidade apresenta-se, potencialmente, como observação do custo a ser incorrido na ausência de medidas de adaptação antecipatórias, ou seja, como a resposta a momentos de escassez em um modelo de gestão de crises.

A consideração de tais quadros almeja revelar o potencial de economia hídrica e monetária que modificações dessa natureza seriam capazes de gerar, avaliando, inclusive, suas capacidades em promover a resiliência da bacia. Consequentemente, é possível refletir acerca do perfil e contexto da bacia e da forma como esta é afetada pelas condições climáticas, bem como identificar possíveis áreas de estudo e direcionamento de esforços.

RESULTADOS DA ANÁLISE CUSTO-BENEFÍCIO

A Análise Custo-Benefício aplicada em recursos hídricos resulta em quatro métricas principais de resultados: a Relação Custo-Benefício (RCB) de cada medida; seus benefícios em valor monetário; seus custos associados; e a redução potencial do déficit hídrico, expresso em percentual, todos apresentados de forma agregada para a bacia nos 50 anos considerados. A RCB revela de maneira objetiva quais medidas possuem ou benefícios superiores aos custos, ou custos superiores aos benefícios, encaminhando para um primeiro critério de priorização.

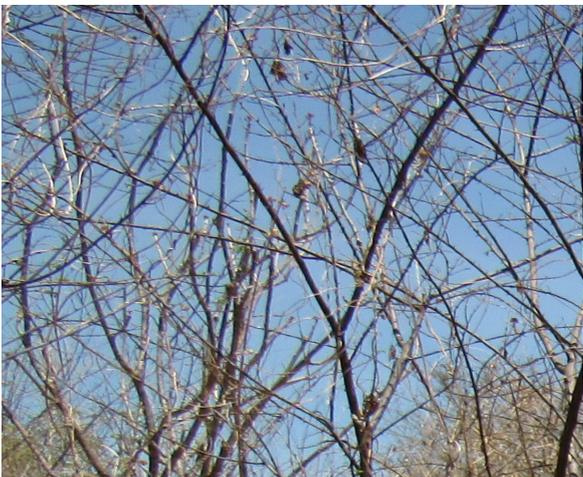
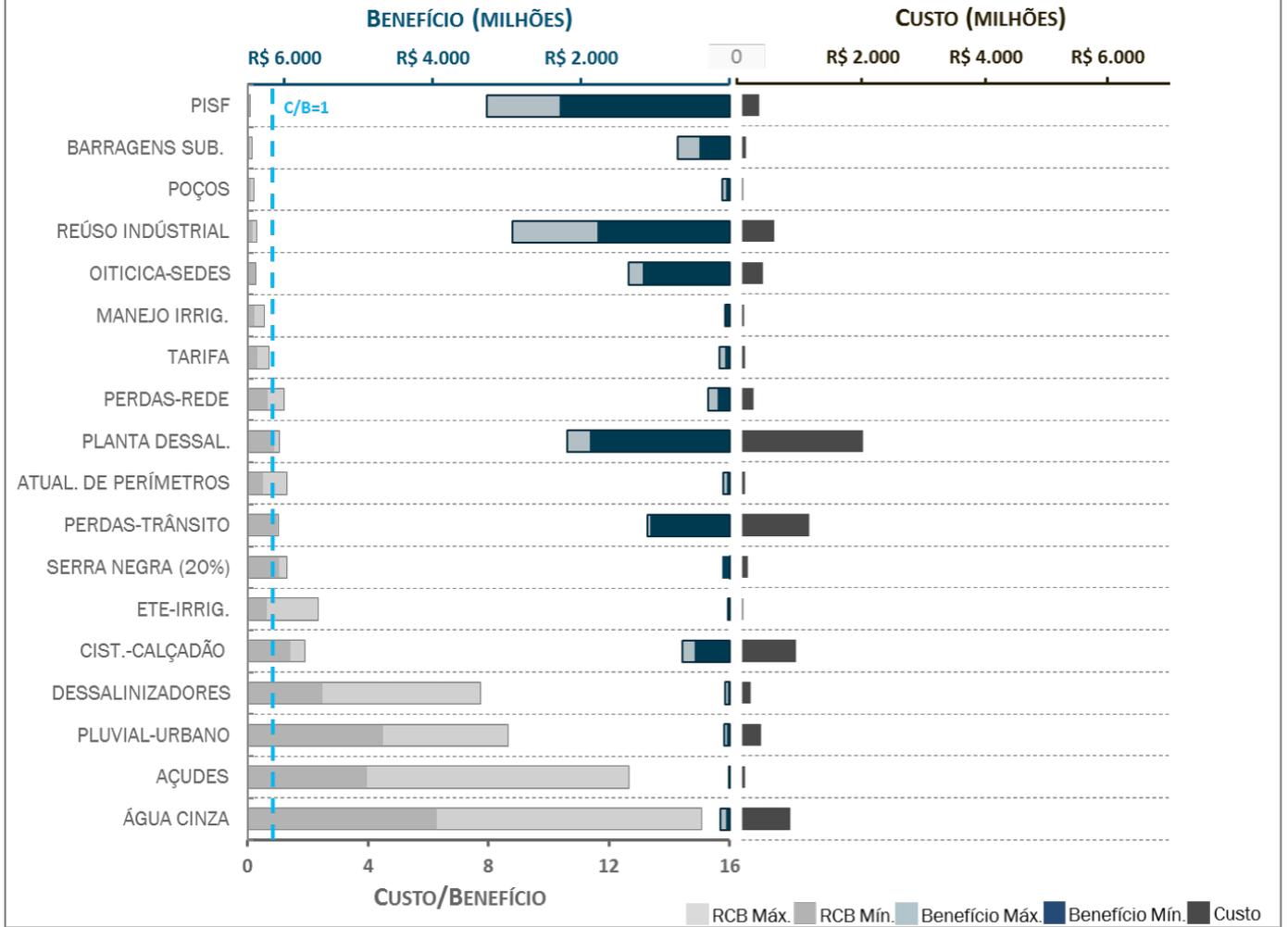
Por outro lado, mesmo que uma medida esteja enquadrada no primeiro caso, apresentando RCB menor que 1, ao se observar seus benefícios associados, esta pode corresponder à baixos retornos monetários. Nesses casos, apesar de a medida ser custo-benéfica, ela não tem grande potencial de contribuição global, sendo necessário considerar também os ganhos acumulados para a região, em contrapartida a benefícios demonstrados apenas localmente, ou em um setor usuário. Assim, saber o tamanho do benefício de cada medida é relevante no momento da definição de uma estratégia em adaptação.

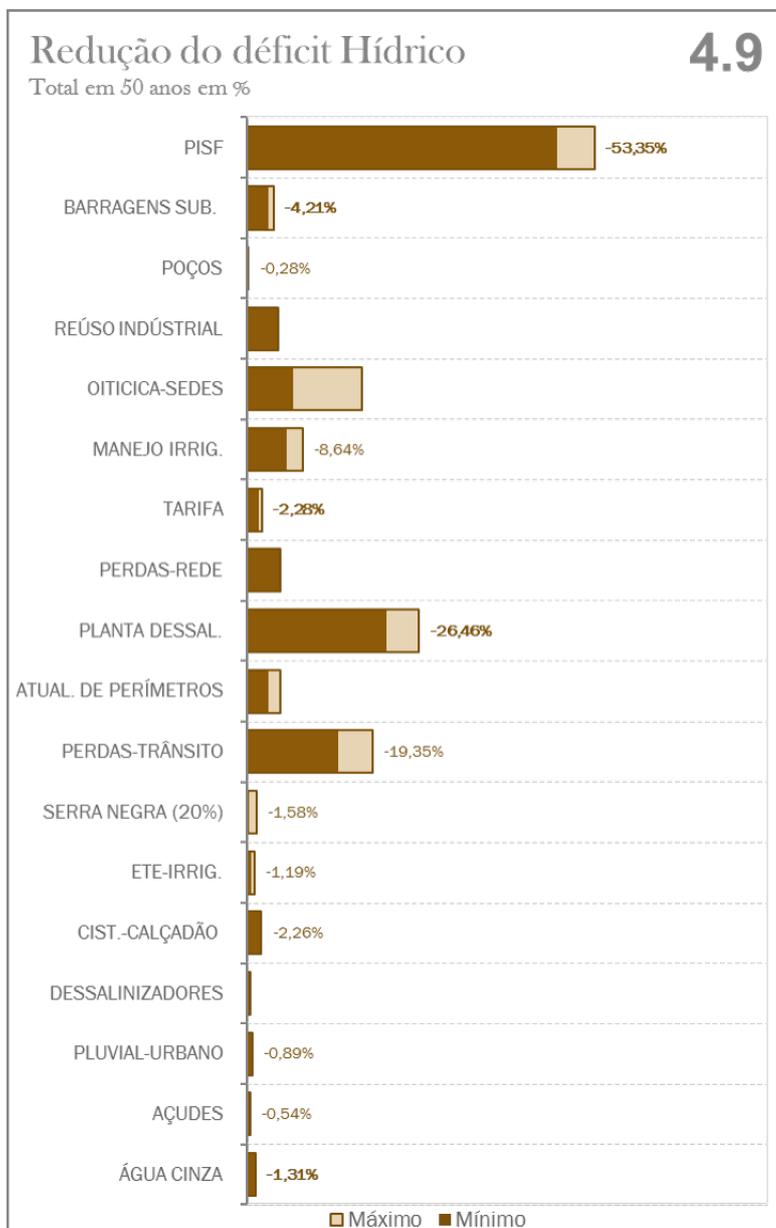
Da mesma forma, se uma medida tem seus custos e benefícios igualados, revelando-se aparentemente uma alternativa neutra, é imperativo considerar tanto a magnitude de tais parâmetros quanto a possibilidade de benefícios significativos de outra natureza, como a redução do déficit hídrico. Nessas situações, o tamanho do investimento necessário e suas contribuições hidrológicas para a bacia, deverão constituir critérios adicionais na tomada de decisão para a priorização.

No caso da bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu, ao se analisar a figura abaixo, que traz os resultados consolidados da ACB, é possível identificar que das 18 medidas testadas, 8 se revelaram custo-benéficas em todos os cenários, 5 podem ser boas alternativas a depender do contexto, estando estas no limiar da RCB 1, e outras 5 apresentaram custos superiores aos benefícios calculados. Além disso, é possível visualizar as medidas que proporcionaram maior benefício econômico e, da mesma forma, aquelas que implicaram nos maiores custos.

Resultados consolidados da ACB

4.8





Discussão e conclusões preliminares

A partir dos resultados da etapa 3 da Análise Custo-Benefício foi possível tecer algumas conclusões, entre elas:

- A bacia do Piancó-Piranhas-Açu se encontra em situação de notável fragilidade hídrica.

As atividades que dependem das águas superficiais sofrem um risco climático da ordem de 12% do valor gerado nos próximos 50 anos.

- As perdas ocorrem não apenas em setores como agricultura irrigada e criação de animais, mas também em atividades industriais, de aquicultura e de abastecimento urbano, da população rural e nas transferências para outros municípios que também dependem das águas da bacia para consumo urbano.

Ao se adicionarem os riscos advindos das mudanças do clima, o risco potencial sobe para 14% no cenário moderado; até 24% em cenário de maior aridez; e 21% em caso de maiores extremos climáticos.

- É importante estudar as alternativas: nem todas as medidas adaptativas se mostraram benéficas.

Eis que nem todas as medidas testadas revelaram-se benéficas. Há um conjunto que, por mais que sejam geradoras de benefícios para seus usuários-foco, não o fazem em volume econômico suficiente para compensar as perdas que acabam por promover em outros setores e/ou em outras localizações geográficas. Ou seja, por mais que um setor e/ou uma determinada região seja beneficiado/a pela medida, a influência desta no comportamento hidrológico da Bacia como um todo, acaba por gerar perdas econômicas maiores e, logo, não geram benefícios líquidos positivos.

- Existem medidas que não apresentam uma boa RCB em determinados cenários, mas o fazem em outros.

Uma vez que não se pode escolher o cenário climático que ocorrerá no futuro, mas deve-se preparar para quaisquer uns, estas medidas podem ser classificadas como sendo *low-regrets*.



- A ACB pôde revelar medidas não recomendáveis.

Há um conjunto de medidas que se mostra gerador de benefícios líquidos, ou seja, por mais que um determinado setor ou região possa incorrer em perdas, no total da bacia os ganhos superam tais perdas eventuais. Isso não significa, entretanto, que sua adoção seja recomendável: mediante o contraste dos benefícios líquidos gerados com os custos necessários para a aplicação, sua RCB se revela maior que 1.

- Por fim, um terceiro conjunto de medidas se mostra gerador líquido de benefícios para a bacia em montantes que superam seus custos de aplicação.

As medidas que apresentam uma RCB positiva e menor do que 1 são aquelas que emergem como as recomendadas para ação prioritária. Esse conjunto de oito medidas se torna robusto à medida que agrega benefícios líquidos acima dos custos de implantação de forma consistente: não apenas a RCB se mantém abaixo de um sob quaisquer cenários climáticos, como também considerando as incertezas de custos (+15%) e um horizonte temporal mais curto (20 anos).

Esse é o conjunto de medidas compreendido como *no-regrets*.

Sobre as medidas de caráter exploratório que se propuseram ir além da ACB, concluiu-se que existe um potencial a ser explorado, uma vez que os benefícios associados se revelaram significativos, ficando por volta de R\$ 300 milhões e podendo atingir até R\$ 3 bilhões. Há de ser fazer, no entanto, um exercício de compreensão em torno dos custos imperativos de viabilização, uma vez que esses não foram postos em questão. Adicionalmente, dado que tais conjunturas desafiam o estado atual e natural das atividades desenvolvidas na bacia, haveriam barreiras culturais de extrema relevância que precisam ser consideradas.



A condução da ACB permitiu identificar, além das medidas com melhor ou pior RCB, consistências, características e fragilidades mais gerais da gestão das águas na bacia. Pontuam-se abaixo as mais notáveis:



- Apenas reservatórios estrategicamente pensados podem agir sobre a fragilidade hídrica da bacia.

Nas simulações, somente o reservatório de Oiticica, mediante a distribuição de suas águas ao Seridó por meio de adutora para as sedes urbanas, se provou custo benéfico. Os demais reservatórios provocam perdas sistêmicas ao modificar a distribuição das águas, verificando-se uma situação hidrológica limite. O potencial hídrico da região já está consideravelmente explorado por meio da infraestrutura existente, de forma que novas intervenções só trarão benefícios se metodicamente ponderadas.

- Na bacia, há pouca margem para redistribuição de água.

Das diversas medidas adaptativas que provocam modificações na distribuição de água, todas causam perdas econômicas aos setores usuários ou às localidades não contempladas. Esses efeitos negativos, na maioria dos casos, superam inclusive os benefícios esperados. Exemplo notável está na geração de perdas quando da utilização dos efluentes domésticos tratados na irrigação, uma vez que a água ora utilizada deixa de afluir para jusante.

- Os maiores benefícios são gerados pelo aporte de água na bacia.

Esse aporte pode ser via transposição das águas do rio São Francisco; pela dessalinização da água do mar; ou ainda por meio da redução de perdas em trânsito das águas da própria bacia por meio da canalização de leitos de rios. De qualquer forma, os maiores benefícios são assim gerados, embora essas sejam soluções de elevados custos.

- A captação das águas subterrâneas é limitada e de baixo potencial.

A exploração das águas subterrâneas no cristalino, mediante a instalação de dessalinizadores, mostra-se uma opção cara e de baixo potencial hídrico. Já o incremento na exploração de água subterrânea nas demais formações hidrogeológicas é custo-benéfico, embora ocorra em poucas localidades e com potencial hídrico tímido. Não obstante, a gestão integrada dos recursos subterrâneos e superficiais, quando bem coordenada, pode gerar benefícios que extrapolam o simples potencial líquido de abatimento de déficit, incrementando, assim, a resiliência dos sistemas hídricos convencionais.

- Há notável distinção de estratégias entre os meios urbano e rural.

Enquanto a redução do risco climático para o primeiro demanda grandes obras, o segundo ainda conta com solução efetiva e de baixo custo: a implantação de tecnologias que abarquem a multiplicidade que caracteriza os usos difusos rurais.

- O risco climático na bacia do PPA se prova persistente.

Das medidas testadas, apenas as mais estruturais conseguem reduzir o risco climático de forma substancial. Mesmo assim, a redução máxima do risco é de 60%. A grande maioria das medidas detém caráter incremental e paliativo frente à fragilidade imposta pela mudança do clima. É possível (e provável) que o convívio com situações de escassez hídrica no futuro necessite de ações programadas de contingência e da promoção de modificações fundamentais na forma de uso de água.

- A gestão de desastres representa opção ainda mais custosa.

Ainda que existam dificuldades associadas à promoção de medidas de adaptação, os custos da inação em um primeiro momento e da mera gestão de crises *a posteriori* (via caminhões-pipa) são ainda maiores.

A aplicação da ACB propõe a avaliação individual de cada uma das medidas adaptativas no intuito de se formar base homogênea de comparação. A realidade de extrema fragilidade hídrica, demanda, por outro lado, a aplicação de diversas das medidas adaptativas em conjunto. Isso decorre do fato que não há uma só medida que atenda a todos os setores usuários e a toda abrangência territorial da bacia do Piancó-Piranhas-Açu. Da mesma forma, não há medida que consiga reduzir o risco climático de forma fundamental, mas cada medida pode, ao seu modo, adicionar resiliência à bacia.



5

CÁLCULO DO CUSTO DA CRISE ATUAL



Os resultados obtidos a partir do cálculo do Risco Climático Total, em conjunto com o conhecimento acumulado acerca dos métodos de estimação de perdas econômicas e da realidade local da bacia, suscitaram o interesse e evidenciaram a oportunidade de estimar as perdas econômicas decorrentes de seu evento mais recente de seca, iniciada em 2012 e persistindo até meados de 2018. Os cálculos realizados, em função dos dados disponíveis, consideraram o período entre julho de 2012 e julho de 2017.

Tal esforço permite o diagnóstico da severidade dessa crise hídrica a partir de um novo enfoque, contribuindo para a melhor comunicação de seus impactos e, eventualmente, enriquecendo as discussões sobre como melhor reagir à seca no curto prazo, em adição às considerações de mais longo prazo, possibilitadas pela Análise de Custo-Benefício de medidas de adaptação apresentada.

Assim como para as perdas econômicas calculadas para os próximos 50 anos, as estimativas aqui oferecidas **não buscaram compreender todo o valor econômico** que foi perdido na atual crise hídrica. Com efeito, o foco esteve nas perdas consideradas tangíveis e de primeira ordem, a partir da perspectiva da própria bacia.

ESTIMANDO PERDAS ECONÔMICAS DE UM EVENTO QUE JÁ OCORREU

Após um evento crítico – natural ou induzido pela ação humana – quaisquer alterações na disponibilidade de recursos naturais impactam tanto a produtividade desse estoque de capital natural, físico ou humano, quanto a capacidade das pessoas de utilizar esses recursos e se apropriar de seus retornos. Tal constatação aplica-se também para crises hídricas, especialmente, quando causadas, ao menos parcialmente, por períodos de precipitação abaixo dos padrões esperados.

Nesse sentido, a estimação de perdas econômicas configura tarefa fundamental a ser conduzida pelos gestores dos sistemas hídricos, formuladores de políticas públicas e tomadores de decisão nos setores público e privado, em primeiro lugar para compreender a magnitude do impacto sofrido e, posteriormente, para propor e implementar medidas que busquem evitar perdas similares no futuro.

Ressalta-se, de início, que não apenas critérios técnicos embasam a definição de um evento climático crítico. Considerações de ordem política e social também podem contribuir para ou justificar a adoção de ações emergenciais e a destinação de maior atenção e recursos para determinada região. No presente caso, no entanto, é possível observar alta correlação entre critérios políticos e o comportamento hídrico na bacia, e é razoavelmente seguro estipular o início da recente crise hídrica em meados de 2012, com impactos que perduram até o presente momento.

ESTIMAÇÃO DE PERDAS ECONÔMICAS ASSOCIADAS A CRISES HÍDRICAS PASSADAS

Eventos de escassez hídrica se caracterizam por não serem pontuais no tempo, isto é, são eventos contínuos, que ocorrem durante algum período e podem se estender, eventualmente, por anos (Wilhite, Svoboda e Hayes 2007; Ding, Hates e Widhalm, 2010). Essas ocasiões comumente não têm momentos de início e término de fácil identificação, e se manifestam em escalas geográficas amplas. Crises hídricas costumam não apresentar danos visíveis e claros (em particular sobre estruturas físicas). Em decorrência desses aspectos, a estimação de perdas econômicas de eventos de escassez que já ocorreram **tende a ser mais difícil do que para outros desastres naturais.**

A prática no que diz respeito à estimativa de perdas decorrentes de crises hídricas ainda é **incipiente e repleta de limitações.** Mesmo em ocasiões em que há alguma disponibilidade de dados acerca de medidas realmente empregadas, o uso desses valores enfrenta dificuldades e demanda considerável discricção sobre como tratá-los.

Nesse sentido, a abordagem desenvolvida para a estimação das perdas econômicas nos próximos 50 anos, o denominado Risco Climático Total, estabelece, a partir do método função de produção, a relação entre um déficit hídrico e o correspondente impacto na produtividade em cada setor usuário, abarcando dessa forma a sensibilidade do mercado à falta de água e conseguindo captar o momento em que um evento hidrológico afeta determinado aspecto da dinâmica socioeconômica.

Embora também conte com suas limitações, a metodologia proposta é familiar e de aplicação consistente para os principais setores usuários de água na região de interesse. Sendo assim, se **propõe a replicação das mesmas etapas desenvolvidas com os cenários climáticos de vazão futura, usando-se, agora, os dados reais de vazão registrados entre julho de 2012 e julho de 2017.**

EXPERIÊNCIA DE ESTIMAÇÃO DE PERDAS ECONÔMICAS DE EVENTOS DE ESCASSEZ NO BRASIL

Em relação às estimativas brasileiras de perdas econômicas em função de eventos de escassez hídrica, destaca-se a publicação de De Nys et al. (2016). Os autores citam que na seca de 1979 a 1983, houve perda de produção agrícola da ordem de 72% no feijão, 82% no milho, 52% no arroz e 70% no algodão (Magalhães e Glantz, 1992 apud De Nys, Engle e Magalhães, 2016). Já Khan et al. (2005, apud De Nys, Engle e Magalhães, 2016) examinam o impacto das secas de 1998 e 2001 na produção agrícola e do estado do Ceará, revelando perdas de receitas de cerca de 70% em relação ao potencial.

De Nys et al. (2016) também desenvolvem método econométrico, com base em dados de produção agrícola, para estimar as eventuais quedas no valor bruto da produção agrícola em decorrência de secas para a região Nordeste como um todo. Os autores encontram resultados estatisticamente válidos para tais perdas, que seriam da ordem de 6,7% em 2010, 16,9% em 2012, 31% em 2013 e 13,6% em 2014.

O impacto global estimado da seca durante o período 2012-2014 é de cerca de 20% das receitas normais de produção. Ao segregar os resultados por culturas perenes e temporárias, os autores observam que os impactos da seca no segundo perfil é mais intenso do que no primeiro. Já quanto ao impacto das secas na pecuária, os autores identificam perdas pela seca de 2012-2014 da ordem de 8% nos rebanhos bovinos.

Cenário de linha de base

O método adotado para a Análise Custo-Benefício pode ser entendido como a análise de um evento crítico que hipoteticamente já teria acontecido, só que no futuro. Logo, sua replicação para um evento passado ocorre de maneira direta e sem necessidade de maiores adaptações.

Em qualquer caso, estimativas de perdas dependem do estabelecimento de uma linha de base para comparação, isto é, a construção de um **cenário que represente o que teria ocorrido na bacia na ausência (apenas) da crise hídrica**. No entanto, inevitavelmente, a unidade de análise está sujeita a demais eventos socioeconômicos que influenciam as dinâmicas de produção e demografia na bacia.

Logo, isolar tão somente o efeito da seca não constitui tarefa trivial. No período entre 2012-2016, particularmente, ocorreram consideráveis oscilações no ambiente econômico e político nacional que naturalmente impactaram as decisões e o comportamento dos indivíduos na região. **T**ratamentos econométricos podem auxiliar na identificação das contri-



buições de cada fator distinto sobre a produção na bacia, contudo requerem bases de dados extensas e compreensivas.

Adicionalmente, é necessário reconhecer que qualquer evento crítico é espontaneamente respondido, ainda que limitadamente, pelos indivíduos na bacia, denominada adaptação reativa (Smit, Burton, *et al.*, 2000). Portanto, a mera observação da produção realizada no período de seca já conta, em alguma medida, com possíveis esforços para diminuir os efeitos da crise. De fato, a alocação de quaisquer recursos para lidar (temporariamente) com uma menor disponibilidade hídrica constitui parte dos custos da seca.

Dessa forma, em contraposição aos dados de produção realmente registrados durante a crise, é necessário construir um cenário econômico baseado nas condições iniciais da região, de forma a estimar as perdas observadas caso todo o contexto socioeconômico permanecesse constante, exceto pela ocorrência de evento de seca e seus déficits hídricos característicos. Contorna-se assim, ao menos parcialmente, as dificuldades associadas à identificação exclusiva das perdas decorrentes da crise hídrica, embora adicionem-se as incertezas intrínsecas das projeções econômicas.

Projeção de demandas hídricas por setor usuário

A projeção de demandas hídricas tem como base os usos de água observados na prática na bacia, idealmente com dados imediatamente anteriores aos impactos da crise hídrica. Parte-se então de indicadores que estabeleçam conexão entre a dinâmica socioeconômica relativa à determinada atividade produtiva e suas necessidades hídricas, da mesma forma como conduzido para a projeção das demandas futuras utilizadas no cálculo do Risco Climático total.

A hipótese de que essas relações permanecerão constantes no futuro é tão mais forte quanto mais próximo o período de análise. Nesse sentido, é bastante razoável estimar que os hábitos e costumes dos indivíduos da bacia do Piancó-Piranhas-Açu seguiriam inalterados no período 2012-2017 com relação aos anos imediatamente anteriores, não fosse pela ocorrência do evento de escassez (e das respostas automáticas que este desencadeia).



Conversão dos déficits hídricos em unidades monetárias

A combinação das demandas hídricas projetadas para o período de análise com a observação dos padrões de vazão observados (coletados junto à Agência Nacional de Águas) resulta, então, nos déficits hídricos sofridos por cada setor usuário no período da crise. Tal como para a Análise Custo-Benefício de medidas de adaptação, utiliza-se o sistema de suporte à decisão AcquaNet para realizar a alocação da oferta hídrica disponível entre os usuários, considerando as mesmas premissas adotadas anteriormente.

Esses déficits, por setor, município e medidos mensalmente, configuram o Risco Físico a que a bacia esteve submetida durante a crise hídrica iniciada em 2012. A próxima etapa da análise reside, portanto, na conversão desse risco para valores monetários, ou seja, a tradução do Risco Físico em perdas econômicas, o Risco Climático Total.

Como discutido anteriormente, é possível e razoável **replicar o mesmo método de função de produção**, adotado para o cálculo do Risco Climático Total dos próximos 50 anos. Tal replicação, inclusive, permite a comparação das magnitudes de eventos de escassez esperados no futuro e aqueles referentes à crise real e já observados na região.

Resultados: perdas econômicas da crise atual (2012-2017)

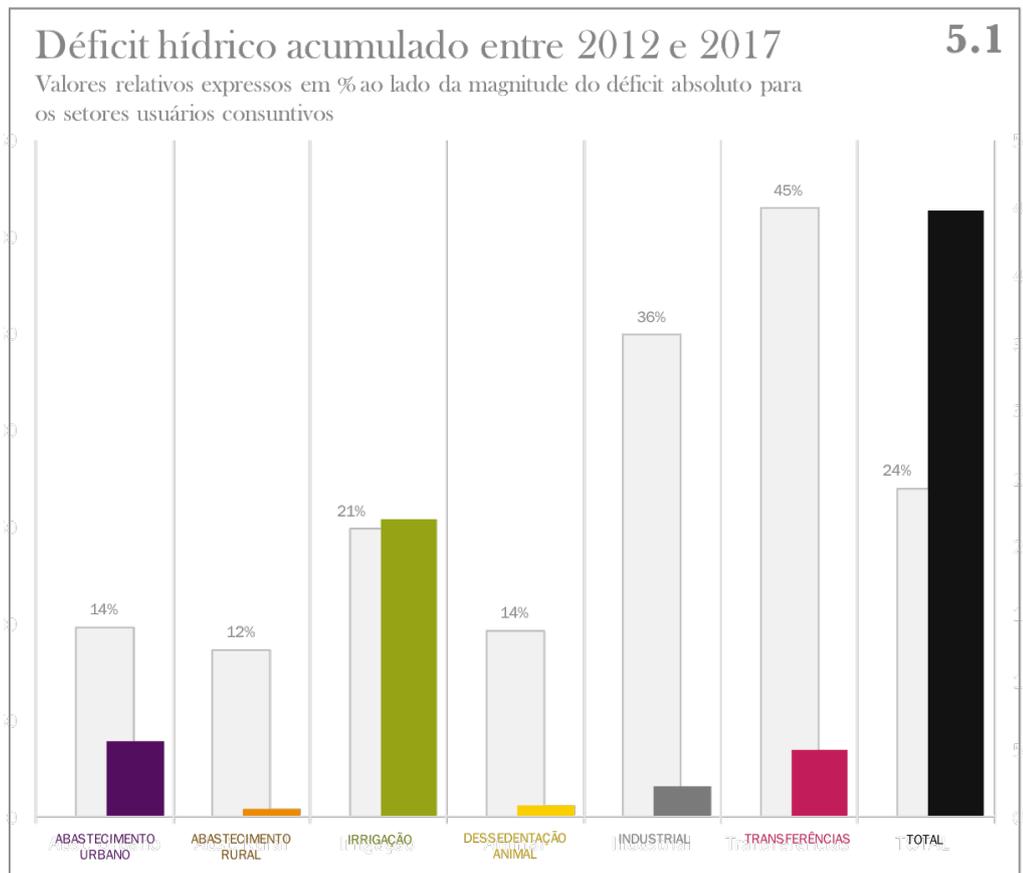
O MÉTODO DE FUNÇÃO DE PRODUÇÃO PARA PERDAS ECONÔMICAS PASSADAS

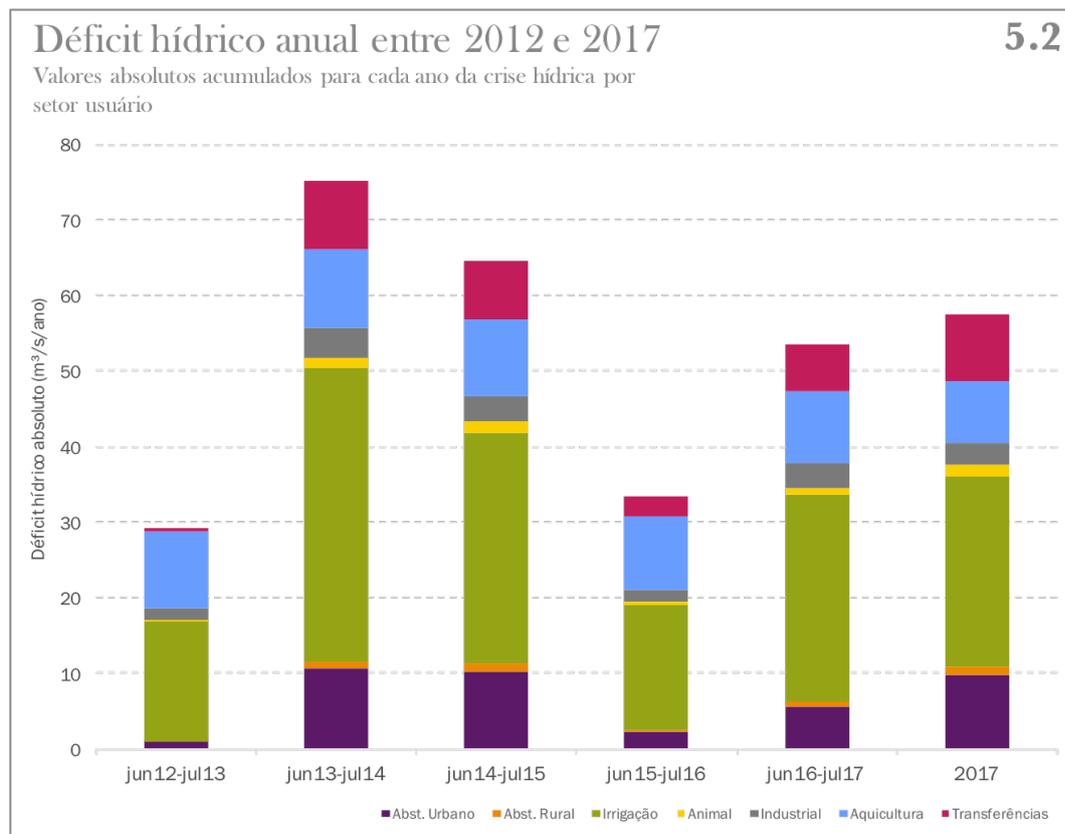
É válido lembrar que os métodos tais como o de função de produção são, de fato, recomendados para exercícios que busquem estimar os impactos tangíveis e de primeira ordem dos eventos de escassez (objetivo do presente trabalho), já que são pertinentes a todos os tipos de atividade econômica e asseguram estimativas razoavelmente precisas e consistentes entre eles (Logar e Bergh, 2011). A adoção desse método pode subestimar as perdas da crise hídrica, ao não observar plenamente efeitos sistêmicos e refletir o valor econômico total para os indivíduos (e a natureza), mas também limita o foco explicitamente na unidade de análise, reforçando as possíveis ações que os indivíduos dentro da bacia podem tomar para responder (ou se antecipar) ao evento.

Risco Físico: magnitude dos déficits hídricos

O primeiro passo para auferir o impacto econômico da crise hídrica atual é compreender o efeito da disponibilidade reduzida de água nos diferentes setores usuários. Para tanto, a figura abaixo apresenta o déficit hídrico acumulado de cada setor e a proporção desse déficit frente à demanda deste mesmo setor, representando o déficit relativo, entre junho de 2012 e 2017. Por exemplo, quase 40% da demanda da indústria não foi atendida no período, embora a demanda e o déficit do setor sejam menores (em termos absolutos) do que as do setor agrícola (Irrigação).

Os resultados reforçam o caráter agrícola da região, com considerável parcela da água e, conseqüentemente, do déficit atingindo a Irrigação. Nota-se, também, que mesmo setores prioritários, como o abastecimento urbano e as transferências de água para fora da bacia (que da mesma forma se destinam majoritariamente a consumo humano), foram impactados de forma significativa.





Risco Climático Total: magnitude da perda econômica

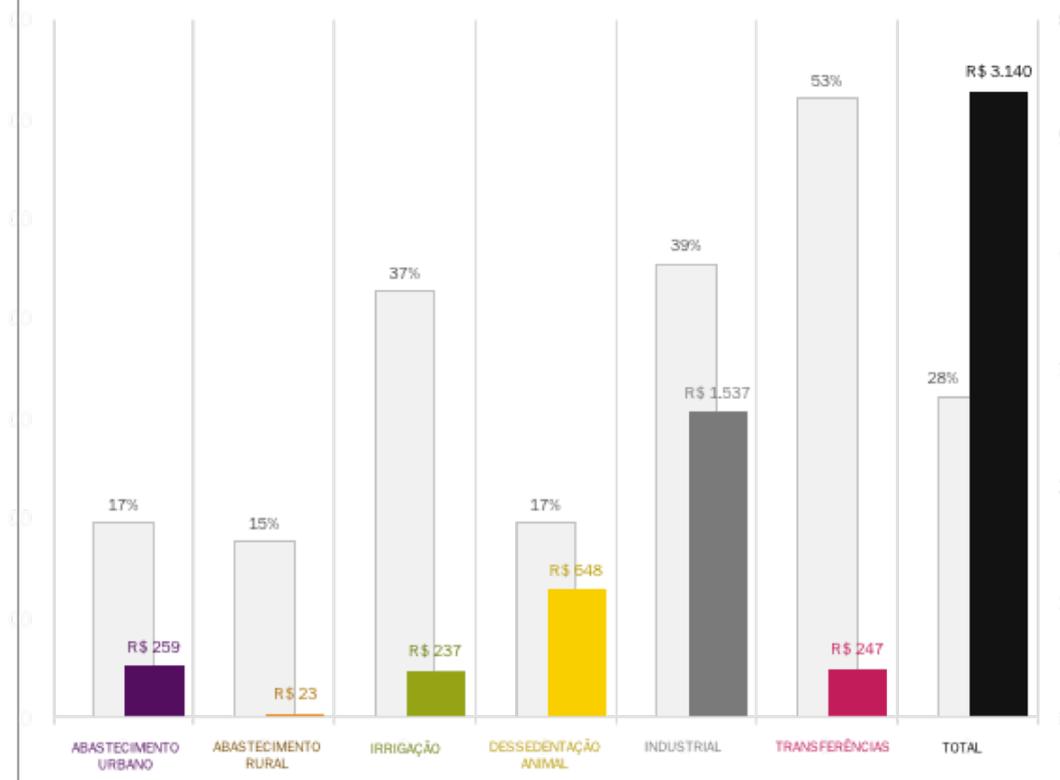
A partir dos déficits estimados para cada setor usuário, é então possível fazer a tradução dos impactos físicos para econômicos, de acordo com a relação de cada setor com o insumo água. A figura abaixo apresenta as perdas acumuladas para a bacia ano a ano e para o total do período. Tais **perdas ultrapassaram a marca dos R\$ 3 bilhões no período, valor equivalente a 3,07% do PIB da bacia.**

O setor industrial, por gerar maior valor agregado a partir da água, responde por quase metade das perdas econômicas, ainda que apenas por 7% do déficit. Similarmente, a participação da Dessedentação Animal nas perdas econômicas é digna de nota, tendo em vista que pouco mais de 15% do valor da atividade foi perdido no período.

Perda econômica total entre 2012 e 2017

5.3

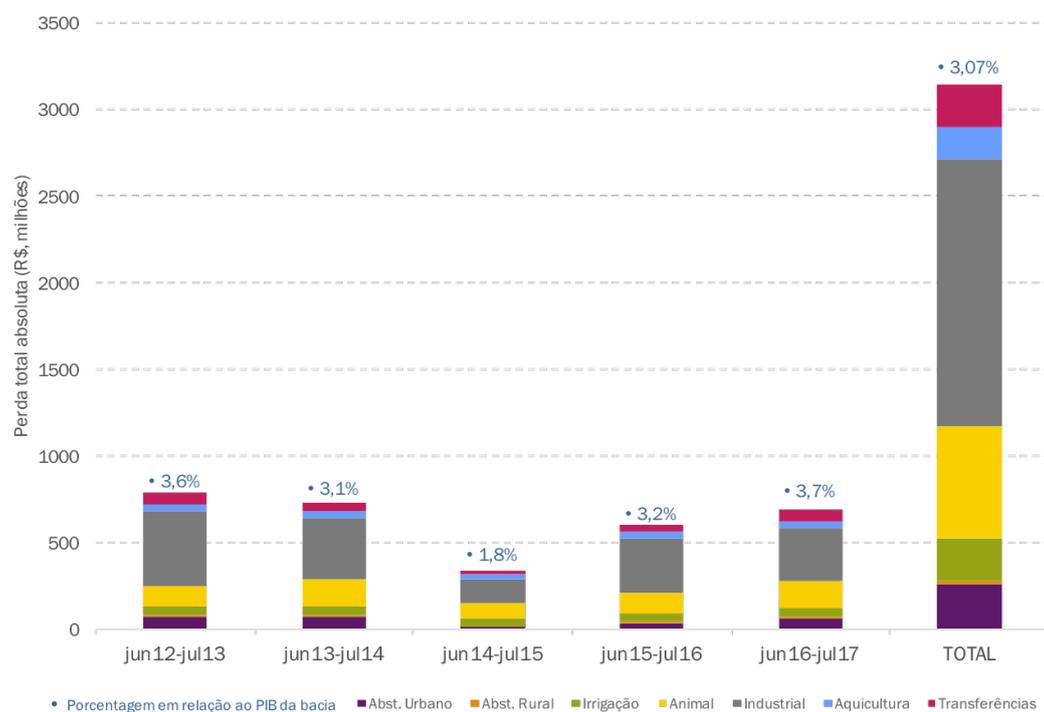
Perda relativa em % e perda absoluta em milhões de reais para os setores usuários consuntivos



Perda econômica anual entre 2012 e 2017

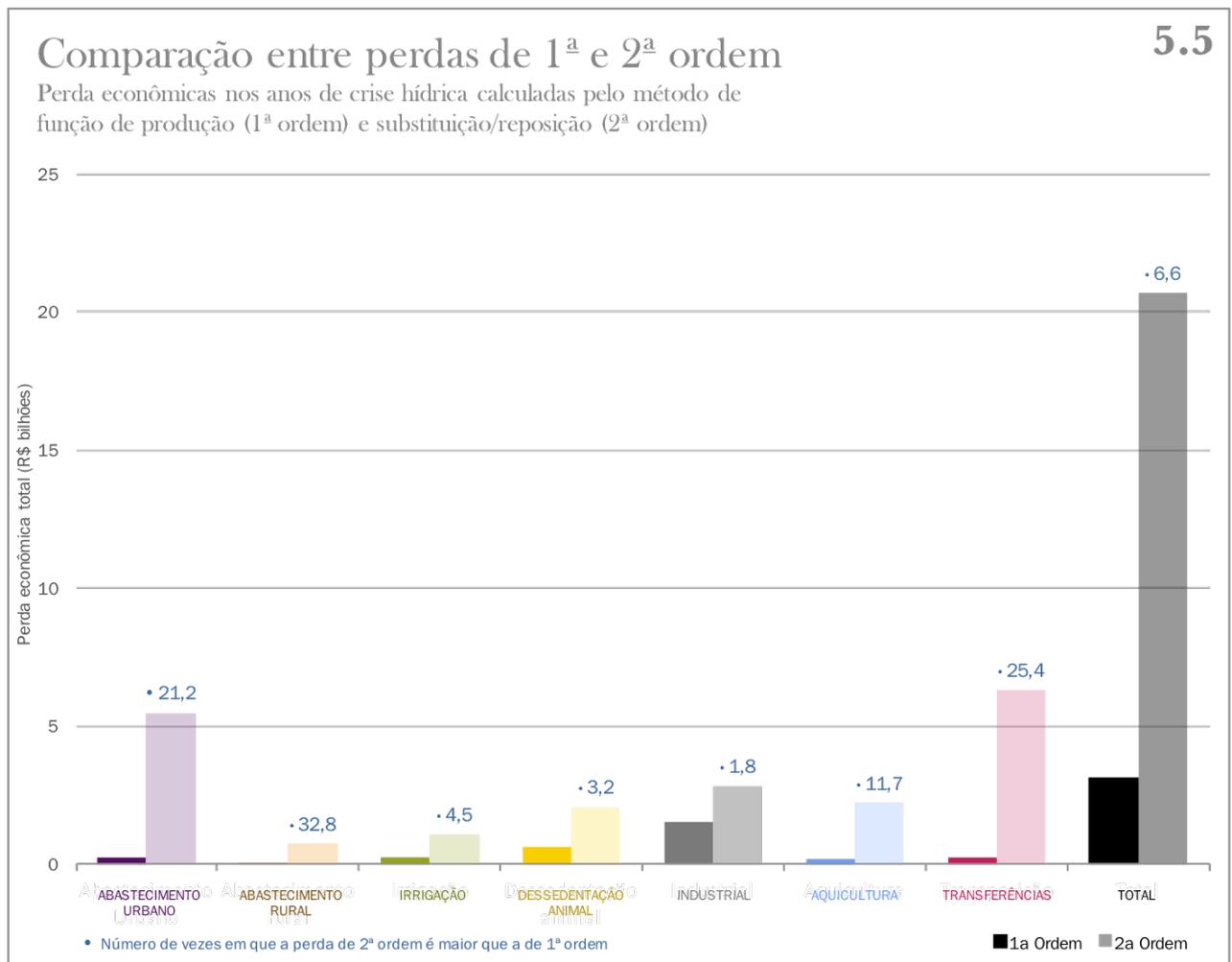
5.4

Perda absoluta acumulada para cada ano da crise hídrica expressa em milhões de reais por setor usuário.



Estimação de perdas econômicas pelo método do custo de reposição ou substituição

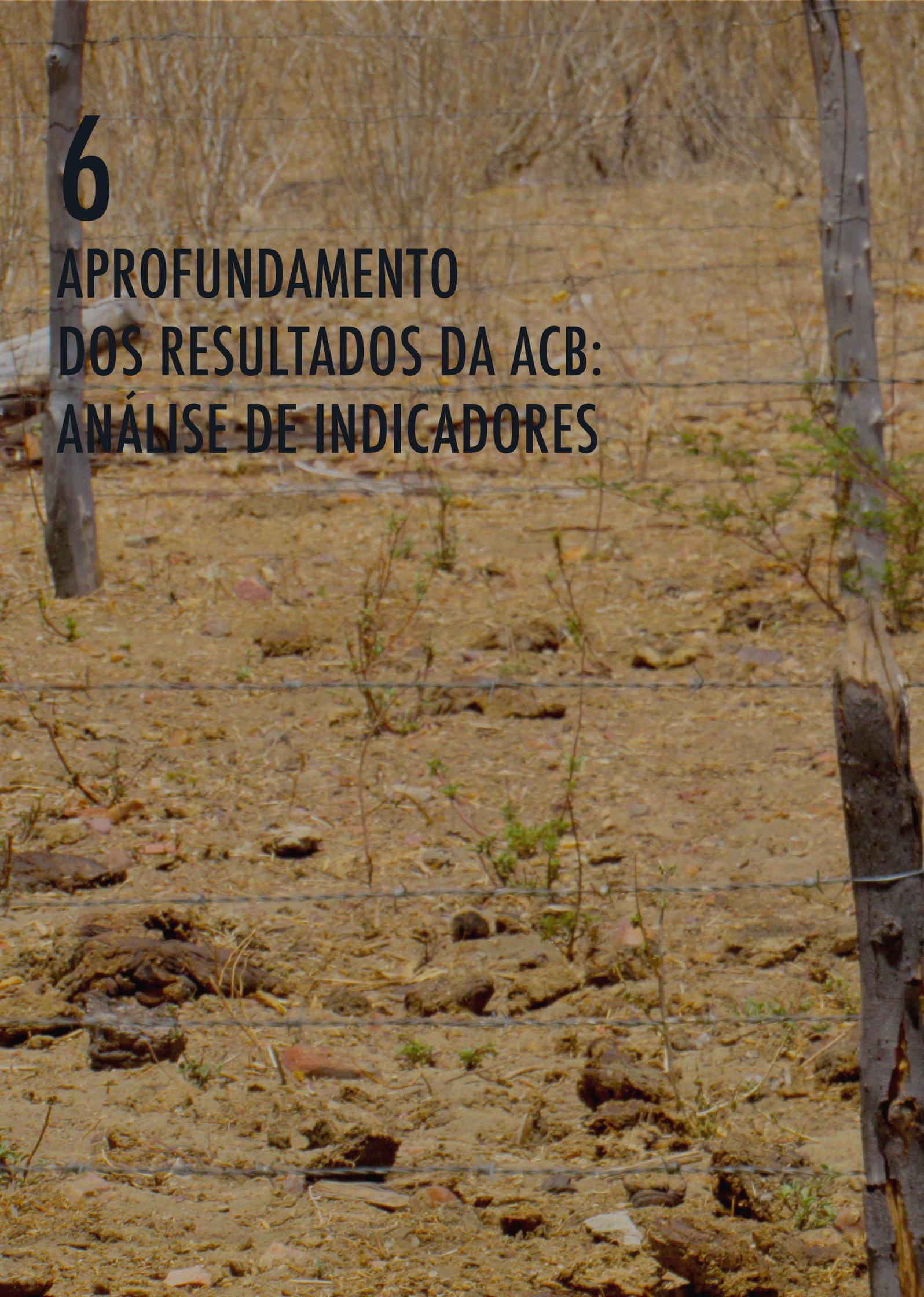
Como discutido, além do método função de produção, outras abordagens para estimar perdas econômicas podem ser empregadas. Estas, a depender do objetivo, são apropriadas para quantificar outros efeitos na economia para além das perdas tangíveis e de primeira ordem. Nesse sentido, à título de comparação, foram calculadas as perdas de cada setor usuário pelo método de reposição ou substituição, representando a diferença do valor captado na 1ª e na 2ª ordem. Em setores como abastecimento urbano e rural, o valor pode ser até 30 vezes maior, como mostra a Figura 5.5 a seguir.





6

APROFUNDAMENTO DOS RESULTADOS DA ACB: ANÁLISE DE INDICADORES





A complexidade envolvendo a execução de uma Análise de Custo-benefício de medidas de adaptação para a bacia hidrográfica do Piancó-Piranhas-Açu mostrou a necessidade e pertinência de análises complementares, que fossem além das razões custo-benefício obtidas em sua última etapa. Nesse sentido, o aprofundamento dos resultados da ACB envolveu retomar os valores de déficits hídricos e perda econômica, aprofundá-los e expandir a percepção em torno de suas conclusões.

Partindo da quantificação do Risco Físico, expresso pelos déficits hídricos, e do Risco Climático Total, traduzindo o valor econômico perdido, passando pela análise dos efeitos de implantação de medidas de adaptação até o levantamento de seus custos, e, finalmente, o ranqueamento das alternativas consideradas, cada etapa foi acompanhada da produção de extensas bases de resultados desagregados, revelando uma abundância de possibilidades para a análise.

Dessa forma, discute-se os resultados, principalmente considerando a heterogeneidade do território, a distribuição dos resultados no tempo e a conseqüente necessidade em se revelar outros aspectos que influenciam não só a priorização de ações, mas também a alocação de recursos e o direcionamento de investimentos.

Análise crítica dos resultados da ACB

Uma análise baseada na razão custo-benefício se faz apropriada por sua objetividade. Suas conclusões, muitas vezes, são suficientes para nortear estudos mais aprofundados e encaminhar ou justificar ações. Sob essa concepção, a ACB buscou qualificar as medidas de adaptação a partir de um ângulo pragmático, permitindo a assimilação das informações produzidas de maneira acessível e facilmente comunicável.

Independentemente de um valor global que caracterize determinada medida, há de se lembrar do horizonte temporal e a unidade territorial do estudo. Começando em 2016, a modelagem de um futuro possível se estende até 2065, englobando **50 anos de incertezas e premissas assumidas como constantes**. Em sua outra dimensão, a espacial, são agregados mais de 150 municípios em um número final único, equalizando diferenças locais que dificilmente poderão ser tratadas em conjunto no contexto do planejamento hídrico regional. Os processos que culminaram nos valores finais são carregados de especificidades. Cada número apresentado em sua forma agregada – total para a bacia, por exemplo – pode ser decomposto em diversos outros aspectos, igualmente relevantes.

Avaliação de medidas e seus indicadores

Entre as vantagens de uma abordagem *botton-up* está o fato de que tais resultados foram construídos a partir das menores unidades possíveis de agregação e, portanto, **podem ser facilmente desagregados para uma análise mais aprofundada.**

Os elementos analisados visam revelar outras dimensões dos resultados produzidos durante o processo de concepção da ACB. Tais dimensões dizem respeito ao tipo de resultado analisado, se físico ou econômico, e às formas como esses se apresentam no tempo, no espaço e entre os diferentes recortes relevantes na bacia, entre eles UPHs, municípios, setores usuários e pessoas. Essas dimensões foram categorizadas em **três esferas de avaliação**, apresentadas a seguir.

ESFERAS DE AVALIAÇÃO

Dimensão dos resultados

Físico Econômico

Podem ser físicos, expressos por déficits hídricos, ou econômicos, expressos em unidades monetárias. Os déficits hídricos servem principalmente a propósitos distributivos, identificando vulnerabilidades e auxiliando na abordagem das questões de equidade. Por outro lado, os benefícios e custos associados, agem de forma a revelar características do investimento, impulsionando a alocação inteligente dos recursos disponíveis.

Unidades de análise

bacia

UPH

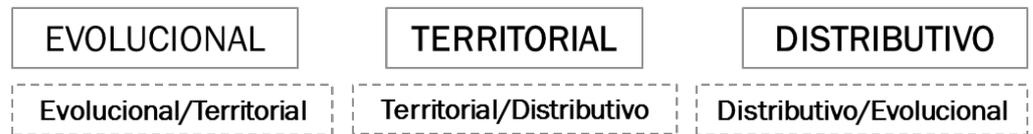
municípios

setores

pessoas

Dizem respeito ao recorte que delimita o grau com que os resultados são agregados. Foram definidos cinco recortes de interesse, de forma que os indicadores propostos pudessem ser expressos em termos de valores totais para a bacia, de acordo com as UPHs, a partir dos municípios, por setor usuário, ou ainda, considerando o menor nível praticável, as pessoas.

Aspecto característico



Define o tipo de impacto que o indicador visa identificar, podendo ser: i) de caráter territorial; ii) buscando delinear as influências dos aspectos distributivos; ou iii) revelar como evoluem os fenômenos ao longo do tempo. Assim, cada indicador é enquadrado em função de seu objetivo, podendo inclusive estar situado em alguma das intersecções.

Outro ponto interessante é o horizonte temporal. Dado que 50 anos escapam às fronteiras de decisão de projetos em muitos contextos, optou-se por dividir, quando pertinente, os dados em duas frentes de investigação: os primeiros 20 anos e os 30 restantes. Dessa forma, é possível observar como um evento se distribui no tempo.

DETALHAMENTO DOS INDICADORES

A relevância de um indicador está na sua capacidade em simplificar o entendimento acerca de um comportamento específico. É nesse contexto que se possibilita a abstração de novas conclusões dos resultados ACB. A figura abaixo introduz os indicadores considerados de acordo com a classificação acima proposta. A tabela apresentada na sequência contém o resumo da intenção de cada um deles e suas principais contribuições. É interessante observar que a própria distribuição dos indicadores nas esferas de avaliação apresentadas reafirma a complementaridade de seus propósitos.

A análise detalhada de alternativas auxilia no entendimento de variáveis complexas, que refletem uma realidade igualmente complexa. A consideração de diferentes fatores, trazidos para uma base comparativa palpável, confere relevância ao estudo de medidas e robustez à tomada de decisão.

INDICADORES PROPOSTOS PARA O APROFUNDAMENTO DOS RESULTADOS DA ACB E SUAS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

INDICADOR	LEGENDA	INTENÇÃO	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES
Aspectos distributivos do ganho hídrico	2;3 e 4	Apontar beneficiados e prejudicados	A maioria das medidas promove benefícios em grande parte dos cenários. Geralmente o setor mais beneficiado é aquele identificado como foco da medida. Em termos de valor econômico gerado, por outro lado, a lógica não é linear. O setor mais beneficiado, em grande parte, é o industrial, refletindo o peso do valor agregado específico de cada atividade.
Fator de impacto	5;6	Relacionar a redução do déficit com o potencial de pessoas afetadas	Indicador que representa o limite de influência nas populações total, rural e urbana. Destaca-se o elevado número de medidas que não atingem, ou atingem pouco, a população urbana em função de estarem limitadas ao eixo perenizado. Apesar disso, de forma geral, as medidas que aumentam a disponibilidade de água são as que detêm maior capacidade de impactar a população positivamente.
Grau de atendimento dos municípios prioritários	15	Revelar se as medidas estão atendendo regiões identificadas como de interesse	As medidas que mais atingem os municípios prioritários são aquelas que redistribuem a água a partir do eixo perenizado ou que se caracterizam pela abrangência territorial. Nos municípios prioritários, nenhuma medida atende a todos os setores usuários.
Índice de permanência do déficit hídrico	11 e 12	Captar a frequência com que a redução do déficit se mantém nos municípios	As medidas que trazem maiores aportes de água são as que reduzem os déficits com maior consistência ao longo do tempo. Esse indicador é de extrema relevância quando se discute segurança hídrica, indicando a consistência das demandas hídricas são atendidas. Nesse contexto, a redução mais constante do déficit hídrico torna a rede mais confiável e os municípios dela dependentes, menos vulneráveis.
Indicadores de custo-efetividade	1	Relacionar déficit absoluto, benefício econômico e custo das medidas a partir de uma base única comum	O ordenamento das medidas para a relação de custo-benefício não é a mesma para as de custo-efetividade. Ou seja, não necessariamente as medidas que são custo-benéficas estão trazendo reduções proporcionais de déficit hídrico ou valor econômico gerado. O ranking das medidas em R\$/m ³ certamente deve ser lido em conjunto com a RCB.

INDICADORES PROPOSTOS PARA O APROFUNDAMENTO DOS RESULTADOS DA ACB E SUAS PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES

INDICADOR	LEGENDA	INTENÇÃO	PRINCIPAIS CONTRIBUIÇÕES
Tempo de payback	8	Identificar o ano em que o benefício obtido supera o valor investido	Há uma relação direta entre as medidas que são custo-benéficas e o tempo mais curto de <i>payback</i> . Dessa forma, pode-se dizer que a eficácia na redução dos impactos da mudança do clima significa investimentos potencialmente elevados no tempo presente.
Índices Capex e Opex	9	Revelar as diferenças de investimentos iniciais e operacionais entre as medidas	A consideração dos custos de operação e manutenção é importante do ponto de vista da instituição que se responsabilizará pelo pagamento dessa conta. Em um contexto de impossibilidade de altos investimentos, medidas que são custo-benéficas, porém apresentam menores índices Capex, são preferíveis. A definição do nível hierárquico nesse quesito poderá viabilizar ou não a implantação de uma medida, o que faz também do índice de Opex um importante indicador.
Distribuição Temporal Custo e Benefício	10	Mostrar quanto dos custos e benefícios estão concentrados nos primeiros 20 anos	Há uma maior concentração de medidas com menores custos de Opex em relação aos custos de Capex. Medidas com Capex inicial alto podem ter seus custos suavizados ao longo do tempo mediante diferentes estratégias de financiamento. Tal estratégia é tão mais pertinente quanto mais concentrados no futuro estão os benefícios. Em direta oposição aos custos, concentrados no curto-prazo, tem-se uma distribuição mais homogênea das medidas quanto à geração de benefícios.
Índice de variabilidade do benefício	13 e 14	Captar a flutuação entre anos de aumento e anos de redução da perda econômica	Muitas medidas mantêm reduções estáveis de déficits hídrico e com isso geram benefícios também estáveis. Esse indicador também se relaciona com a segurança hídrica, trazendo para a análise, uma componente econômica. Ao se identificar o quão constante é a geração de benefícios tem-se um indicativo da sustentabilidade financeira que determinada medida pode proporcionar, para a bacia ou setor usuário.
Comparação com o custo da crise atual	7	Estabelecer uma base comparativa para ações de resposta e ações de crise	Todas as medidas adaptativas trazem custos em ordens de magnitude inferiores ao custo da crise atual. Diversas medidas custo-benéficas apresentam investimentos insignificantes em relação ao que foi já sacrificado, além de benefícios líquidos. A comparação dos custos das medidas com o custo da crise atual reforça, assim, a viabilidade e pertinência das ações simuladas.

ANÁLISE DIRECIONADA: EIXO PERENIZADO

O aprofundamento dos resultados da ACB incluiu a caracterização do eixo perenizado, revelando elementos de sua atuação e confirmando a pertinência deste recorte para o entendimento da dinâmica regional de alocação de água. Esse enfoque visa explorar outros aspectos dos resultados, expondo o desempenho das medidas de adaptação exatamente do ponto de vista dos reservatórios que constituem o eixo perenizado, uma vez que o déficit associado a eles corresponde a aproximadamente um terço do déficit total da bacia.

A premissa da vazão firme pressupõe, de acordo com o projeto, que o Pisf fornece, de forma ininterrupta, 2,7 m³/s de água ao longo dos 50 anos de simulação. A maior influência da premissa se dá nos usos prioritários (abastecimento urbano, rural e transferências). Uma vez que estes usos são os primeiros beneficiados, são também os que mais apresentam variações de déficit hídrico caso essa entrada fosse suprimida, podendo ser 60% maiores caso o projeto não se sustente como planejado.

O estudo dos limites do eixo perenizado expõe que medidas com foco apenas em seus três reservatórios estarão condicionadas a atingir, primariamente, apenas os municípios a eles interligados. Por outro lado, podem ser observados efeitos sinérgicos, ou seja, ao se reduzir os déficits nas regiões contempladas, pode haver melhor distribuição de água, atingindo outras localidades.

Foi observado que o maior potencial de abatimento de déficit para medidas com foco no eixo perenizado está nos setores de dessedentação animal, irrigação e uso industrial. Isso ocorre em função da vazão firme, fornecida em caráter constante pelo Pisf desde o início do período de análise, ter sido suficiente para zerar os déficits de usos prioritários nesse trecho. Dessa forma, as regiões que apresentam déficit de abastecimento urbano e rural continuam vulneráveis mesmo com medidas que fornecem grande aporte de água, uma vez que não estão conectadas às estruturas receptoras de tal água.

Para atender às demandas dos municípios mais deficitários, será necessário expandir a influência do eixo perenizado. Sem um projeto que redistribua a água para as localidades mais deficitárias da bacia, os atendidos por obras como a transposição do São Francisco serão sempre os mesmos, aumentando o risco de desperdício e dificultando a alocação inteligente de tal recurso.





7

APROFUNDAMENTO DOS RESULTADOS DA ACB: GRUPOS DE MEDIDAS E SEUS EFEITOS SINÉRGICOS



A ACB conduzida pressupõe a operação isolada de cada medida, garantindo que todas as medidas sejam metodologicamente comparáveis. No entanto, no âmbito prático da gestão hídrica, um conjunto de ações é mais provável do que uma implantação isolada, dando margem para diversos efeitos sinérgicos, tanto de caráter hidrológico quanto econômico. Portanto, novas simulações foram feitas com o objetivo de explorar tais efeitos em potencial.

Assim, são propostos novos arranjos que, ao combinar diferentes medidas em grupos coerentes, pretendem revelar potenciais efeitos individuais e sinérgicos, investigando, dessa forma, mais um dos aspectos que influenciam o planejamento hidrológico local: a gestão integrada dos recursos e infraestruturas. A tabela abaixo apresenta as medidas consideradas nesta etapa.

	NOME DA MEDIDA		RCB	
			Mín.	Máx.
Grandes Obras	Projeto de Integração do Rio São Francisco	(Pisf)	0,07	0,09
Usos Difusos Rurais	Construção de barragens subterrâneas em lotes rurais	(Barragens Sub)	0,09	0,15
Usos Difusos Rurais	Perfuração de novos poços nas regiões de bacias sedimentares	(Poços)	0,10	0,21
Industrial	Reúso de efluentes na indústria	(Reúso Industrial)	0,18	0,30
Grandes Obras	Reservatório de Oiticica e eixo de integração Seridó	(Oiticica)	0,25	0,29
Grandes Irrigantes	Simulação do manejo eficiente das técnicas de irrigação	(Manejo Irrig.)	0,25	0,57
Usuários Urbanos	Diferenciação da tarifa de água a partir de mínimo per capita	(Tarifa)	0,33	0,72
Grandes Obras	Redução de perdas na distribuição de água em áreas urbanas	(Perdas-rede)	0,67	1,22
Grandes Obras	Planta de dessalinização de grande porte	(Planta Dessal)	0,90	1,05
Grandes Irrigantes	Atualização das tecnologias de irrigação em perímetros públicos	(Atualização de Perímetros)	0,53	1,33
Grandes Obras	Redução de perdas em trânsito via adução paralela aos leitos de rios	(Perdas-Trânsito)	1,00	1,04
<i>Gestão</i>	Alteração das prioridades entre indústria e agricultura	(Prioridade Indústria)	-	-
<i>Gestão</i>	Alteração das prioridades entre aquicultura e agricultura	(Prioridade Aquicultura)	-	-

Isso significa que, ao se combinar certo número de medidas, as interações entre elas poderão maximizar os ganhos hídricos e econômicos da rede. Enquanto algumas agem na disponibilidade de água, outras poderão operar a partir de uma melhor distribuição do recurso e ampliar seu aproveitamento. Nesse sentido, será discutida a abordagem proposta para uma investigação desse caráter, apresentando os principais elementos adotados.

INTERAÇÕES E SINERGIAS HIDROLÓGICAS

Para simular uma virtual implantação concomitante, primeiro foi necessário compreender como as medidas poderiam interagir entre si, alterando a disponibilidade e demanda hídrica da bacia. O primeiro passo para a simulação dos arranjos foi a assimilação de suas possíveis interações. Dado que algumas medidas exercem efeitos similares, como a redução da demanda hídrica de um setor, foi necessário identificar onde e de que forma elas poderiam se influenciar mutuamente.

Assim, as demandas finais de cada setor, em cada alternativa de combinação de medidas, devem considerar possíveis sobreposições, que agindo de maneira escalonada, reduzem de maneira mais significativa a necessidade hídrica das atividades desenvolvidas na bacia.

As medidas consideradas para esta fase são apenas aquelas identificadas como *no-regret* ou *low-regret*. Mesmo que uma medida se revele atrativa a partir de determinados aspectos específicos, foi assumido que para o estudo de uma possível implementação concomitante, é pertinente reduzir os potenciais ruídos associados às medidas não custo-benéficas.

CRITÉRIOS E ESTRATÉGIAS DE AGRUPAMENTO DE MEDIDAS

Para a definição dos grupos de medidas combinadas, foram levados em conta diferentes critérios relevantes do ponto de vista do tomador de decisão. Nesse sentido, cinco agrupamentos de medidas foram propostos, denominados: Infraestruturais; Habitualmente recomendadas; *No-regret*; *Low-regret* e de Baixo custo. Tais grupos foram estabelecidos de acordo com suas características dominantes e a partir das medidas que os constituem, sendo detalhados na tabela abaixo.

DETALHAMENTO DOS GRUPOS DE MEDIDAS PROPOSTOS

Infraestruturais	Esse bloco de medidas propõe avaliar intervenções de caráter infraestrutural, ou seja, grandes obras com alto potencial de impacto na redução do déficit hídrico da bacia, entre elas o Pisf, o reservatório de Oiticica em conjunto com o eixo de integração do Seridó, a instalação de adutoras em leitos de rios para atendimento de usos prioritários e a planta de dessalinização instalada na região costeira.
Habitualmente recomendadas	A proposta desse conjunto é avaliar as medidas que são mais comumente recomendadas, e quase sempre priorizadas, no planejamento hidrológico, tais como perfuração para exploração de água subterrânea, construção de reservatórios de grande porte, redução das perdas na rede urbana de distribuição de água e do desperdício na irrigação.
No-regret	As medidas no-regret se caracterizam por escolhas de caráter mais assertivo. Isso significa que essas medidas, identificadas como custo-benéficas nos diferentes cenários climáticos, demonstraram ser investimentos seguros mesmo quando consideradas as incertezas inerentes às premissas adotadas.
Low-regret	Em complementação ao grupo anterior, esse bloco de simulações inclui também as medidas low-regret, ou seja, aquelas que se revelaram custo-benéficas, porém nem em todos os cenários climáticos, nem sob todas as condições de variabilidade das incertezas. Isso não significa que não sejam boas alternativas, mas que devem compor o repertório de medidas possíveis de maneira ponderada, sendo as segundas na linha de priorização.
Baixo custo	Esse grupo de medidas considera um contexto em que o orçamento disponível para investimentos na bacia seja limitado. Nesse sentido, foram selecionadas as medidas que, dentro das opções no e low-regret, demandam baixo investimento. É interessante observar o foco bastante rural deste grupo, o que se revela pertinente dada a fragilidade identificada no setor.

As conclusões encontradas nesta etapa não vislumbram recomendar grupos fixos de ações, mas revelar como os virtuais benefícios são alterados pela implementação conjunta de medidas, bem como os ganhos potencialmente associados a cada conjunto característico de intervenções.

Cada tipo de agrupamento permite, em função da diversidade de medidas disponíveis, a composição de variados arranjos. Buscou-se uma abordagem, sempre que possível, incremental, ou seja, cada arranjo dentro do grupo apresenta uma diferença ou uma medida incremental em relação ao arranjo anterior. Isso permite uma avaliação mais clara de seus efeitos em relação ao todo. As principais medidas tomadas a partir desta perspectiva foram: i) **Pisf e Oiticica**; ii) **Planta de dessalinização**; e iii) **Medidas de gestão**.

Obras como o Pisf e Oiticica já se encontram em estágio avançado de implementação, podendo, em breve, tornarem-se operacionais, sendo de grande importância sua análise isolada. Por outro lado, a planta de dessalinização de grande porte, apesar dos custos e benefícios serem quase equivalentes, pode se mostrar mais ou menos interessante quando em conjunto com outras medidas, além de ser uma tecnologia passível de consideráveis avanços tecnológicos e reduções de custo nos próximos anos.

Adicionalmente, as medidas de gestão propiciam benefícios elevados sem um custo direto de implementação. Quando contrastadas de forma incremental a um conjunto de medidas, seu efeito sinérgico pode ser melhor avaliado.

NATUREZA DAS MEDIDAS DE GESTÃO

Dentro do conjunto de medidas simuladas, algumas se caracterizam por não implicarem em intervenções físicas, mas em ações institucionais de responsabilidade dos órgãos gestores. Assim, tais medidas não demandam investimentos diretos para que sejam implementadas. Não significa, entretanto, que não tenham custos: estes advêm de modificações das regras já estabelecidas; ou são condizentes com a implantação de diretrizes estabelecidas por lei ou decreto, ou ainda, instrumentos econômicos em acordo com setores usuários e outros atores relevantes, assim como todos mecanismos necessários para seu cumprimento.

De maneira simplificada, os custos podem ser considerados políticos e institucionais. Essas alternativas foram denominadas medidas de gestão, algumas delas não sendo inseridas diretamente na ACB, uma vez que não apresentam razão custo-benefício, exatamente por não estarem associadas a nenhum custo objetivo, estando incluídas no grupo de medidas definidas como exploratórias e de caráter para além da ACB.

Em etapa anterior do estudo, tais medidas foram simuladas com a função de dimensionar seu potencial benefício associado. Reconhecidos os possíveis ganhos, é pertinente avaliar como elas podem contribuir para a redução da perda econômica na bacia, em sinergia com outras medidas. As medidas que integram esse conjunto são aquelas que simulam: i) a alteração das ordens de prioridade entre irrigação e indústria; e entre irrigação e aquicultura; ii) aumento da tarifa de água para que se reduzam as ineficiências na alocação do recurso (para volumes acima de um mínimo condizente ao abastecimento básico).

COMPOSIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS DE MEDIDAS PROPOSTOS

AGRUPAMENTOS	INFRAESTRUTURAIS				HABITUALMENTE RECOMENDADAS	NO-REGRET			LOW-REGRET				BAIXO CUSTO		
	I	II	III	IV	I	I	II	III	I	II	III	IV	I	II	III
Barragens Sub						●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Poços					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
PISF	●	●		●			●	●		●	●	●		●	
Reúso industrial						●	●	●	●	●	●	●			
Oiticica	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●		●	
Perdas-Trânsito		●	●	●					●	●	●	●			
Manejo Irrigação					●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Perdas-Rede					●				●	●	●	●			
Planta Dessal				●							●				
Atual. de Perímetros					●				●	●	●	●	●	●	●
Tarifa								●				●			●
Prioridade indústria								●				●			●
Prioridade aquicultura								●				●			●

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Essa seção discute os resultados das combinações de medidas adaptativas à luz das **combinações mais interessantes de cada grupo**. Para tanto, na tabela abaixo apresenta os resultados sintéticos dos grupos de medidas, com aqueles selecionados como os mais interessantes estando destacados.

RESUMO COMPARADO DOS RESULTADOS DOS AGRUPAMENTOS

GRUPO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO		Redução Percentual do Déficit Hídrico		Benefício Econômico (Bilhões)		Custo do Grupo de Medidas (Bilhões)		Relação Custo-Benefício		
		Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Infraestruturais	I	-48%	-61%	R\$ 2,89	R\$ 3,17	R\$ 0,50	R\$ 0,61	0,17	0,20	
	II*	-55%	-67%	R\$ 3,74	R\$ 4,91	R\$ 1,54	R\$ 1,59	0,32	0,41	
	III	-55%	-67%	R\$ 3,74	R\$ 4,94	R\$ 1,51	R\$ 1,52	0,31	0,40	
	IV	-57%	-70%	R\$ 3,86	R\$ 5,10	R\$ 3,23	R\$ 3,24	0,63	0,84	
Habitualmente Recomendadas		I	-17%	-31%	R\$ 1,14	R\$ 1,64	R\$ 0,68	R\$ 0,68	0,41	0,59
No-regret	I	-22%	-34%	R\$ 2,93	R\$ 3,84	R\$ 0,99	R\$ 0,99	0,26	0,34	
	II	-59%	-68%	R\$ 3,76	R\$ 5,35	R\$ 1,07	R\$ 1,18	0,22	0,29	
	III*	-23%	-36%	R\$ 4,11	R\$ 6,02	R\$ 1,12	R\$ 1,22	0,20	0,27	
Low-regret	I*	-53%	-69%	R\$ 3,88	R\$ 5,25	R\$ 2,13	R\$ 2,13	0,41	0,55	
	II	-64%	-73%	R\$ 4,03	R\$ 5,79	R\$ 2,14	R\$ 2,15	0,37	0,53	
	II	-64%	-73%	R\$ 4,03	R\$ 5,80	R\$ 4,11	R\$ 4,12	0,71	1,02	
	IV*	-30%	-46%	R\$ 4,15	R\$ 6,06	R\$ 2,18	R\$ 2,20	0,36	0,53	
Baixo custo	I	-15%	-18%	R\$ 0,61	R\$ 0,81	R\$ 0,10	R\$ 0,10	0,12	0,16	
	II	-56%	-67%	R\$ 3,25	R\$ 4,19	R\$ 0,58	R\$ 0,70	0,16	0,18	
	III*	23%	23%	R\$ 1,08	R\$ 1,33	R\$ 0,14	R\$ 0,14	0,11	0,13	

*alternativas selecionadas como mais interessantes

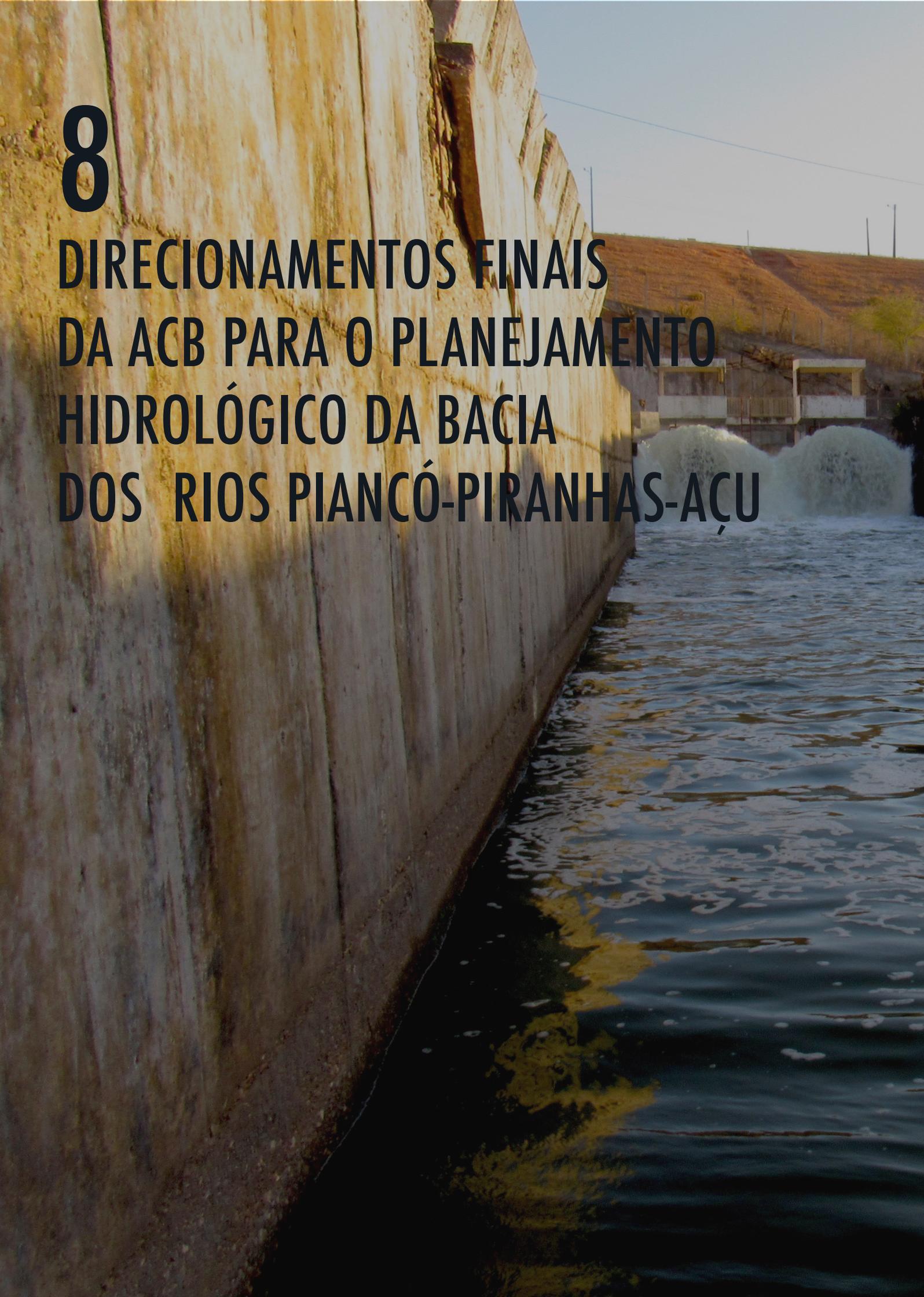
O primeiro arranjo do grupo de medidas *low-regret*, que inclui todas as medidas *low-regret* sem o Pisf, consegue abater entre 53% a 69% do déficit hídrico total da bacia por incluir ações de eficiência na gestão das águas, tais como perdas-trânsito, perdas-rede e atualização de perímetros. É notável que apesar de nenhuma dessas três medidas, individualmente, se apresentarem como *no-regret*, quando implementadas em conjunto representam uma das melhores alternativas, sem considerar a atuação do Pisf.

Outro ponto diz respeito ao grau de segurança hídrica proporcionado por cada conjunto. A questão aqui não é somente o potencial de abatimento de déficits hídricos que um grupo apresenta, mas o quanto este dependeu do Pisf. Pois, dada que a baixa garantia de uma conjuntura em que demandas tão elevadas pela transposição sejam possíveis, a vulnerabilidade da bacia não está sendo reduzida de fato.

Nesse aspecto, mesmo que a planta de dessalinização tenha elevado custo e represente certa redundância com a transposição do rio São Francisco, sua implementação permite uma redução considerável da dependência desta. Por outro lado, efeito similar é alcançado pelo grupo de medidas *low-regret*, que pela diversidade e abrangência de atuação, torna a bacia mais resiliente e, portanto, menos demandante de aporte de água externo, o que reflete em sua já comentada baixa sensibilidade à variação dos custos de adução, sendo este, portanto, o arranjo mais recomendado.

8

DIRECIONAMENTOS FINAIS DA ACB PARA O PLANEJAMENTO HIDROLÓGICO DA BACIA DOS RIOS PIANCÓ-PIRANHAS-AÇU





O processo de elaboração de uma análise de custo-benefício suscita, ao longo de cada uma de suas etapas, o surgimento de lições, aprendizados e recomendações, tanto relacionadas ao processo em si, quanto, e de maneira mais importante, sobre a região de interesse e como projetar e planejar o seu futuro.

Agrega-se aqui considerações feitas a partir das diferentes análises conduzidas ao longo da ACB, bem como a partir dos processos de aprofundamento de seus resultados e oriundas da análise de medidas em grupos. Tais contribuições, feitas a partir de uma análise compreensiva e retrospectiva, foram organizadas em estrito diálogo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rios Piancó-Piranhas-Açu (PRH-PPA).

Enquanto o PRH visa essencialmente “compatibilizar a disponibilidade hídrica, em termos qualitativos e quantitativos, com as demandas de água” (ANA, 2014), a ACB pretende comparar, a partir de uma base comum e de um enfoque econômico, diferentes medidas de adaptação aos riscos da mudança do clima na bacia do Piancó-Piranhas-Açu.

A bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu passou pela elaboração de seu Plano de Recursos Hídricos (PRH) entre os anos de 2012 a 2014, resultando na publicação de um Relatório Técnico. O Plano, contudo, “não deve ser considerado como instrumento estático”; deve ser continuamente reexaminado e readequado à medida que novas informações pertinentes à bacia vão sendo coletadas, tratadas e disponibilizadas (ANA, 2014).

Tendo isso em mente, é natural que a Análise Custo-Benefício desenvolvida, tenha imediata e intensa relação com o PRH-PPA, sendo uma das fontes que podem melhor embasá-lo, bem como corroborar ou questionar as intuições suscitadas por ele.

As recomendações propostas focam em elementos estritamente relacionados aos resultados quantitativos e qualitativos da ACB, de forma que o diálogo com o PRH-PPA ocorre no sentido de oferecer substância técnica e metodológica a partir dos dados obtidos. O detalhamento das contribuições da ACB para o Plano de Recursos Hídricos da Bacia pode ser encontrado nos relatórios completos do projeto.

Diálogo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica

Dado que Plano de Recursos Hídricos da Bacia hidrográfica é o instrumento mais relevante para a gestão hidrológica em nível local, foram explorados os aspectos delimitados por tal documento que se relacionam com os resultados da Análise Custo-Benefício realizada. Esses resultados, em função da riqueza de interpretações, conduziram a contribuições, conclusões e possíveis recomendações no âmbito da ação para adaptação à mudança do clima. Uma vez que o grau de resiliência dos sistemas hídricos se relaciona diretamente com as qualidades estruturais do setor, muitos dos programas e ações previstos pelo PRH-PPA se conectam diretamente com as medidas avaliadas.



DIRECIONAMENTOS FINAIS DA ACB PARA O PLANEJAMENTO DA BACIA

Além das contribuições pontuais e direcionadas, que conectaram dados e conclusões da ACB com os programas previstos no Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rios Piancó-Piranhas-Açu (PRH-PPA), foi possível tecer considerações gerais a respeito do planejamento hídrico da bacia. Essa seção busca apresentar, de maneira direta, qual o arranjo de ações mais recomendável **a partir dos resultados do estudo**.

Grupo de medidas ideal e necessário

É recomendável que se implemente prioritariamente na bacia todas as medidas *no e low-regret*, excluída a planta de dessalinização, e as medidas de gestão, sendo elas:

- Reservatório de Oiticica e eixo de integração (Oiticica)
- Projeto de Integração do Rio São Francisco (Pisf)
- Redução de perdas na distribuição de água em áreas urbanas (Perdas-rede)
- Redução de perdas em trânsito via adução paralela ao leito de rios (Perdas-Trânsito)
- Perfuração de novos poços nas regiões de bacias sedimentares (Poços)
- Construção de barragens subterrâneas em lotes rurais (Barragens Sub.)
- Atualização das tecnologias de irrigação em perímetros públicos (Atual. de Perímetros)
- Simulação do manejo eficiente das técnicas de irrigação (Manejo Irrig.)
- Reúso de efluentes na indústria (Reúso Indústria)
- Diferenciação da tarifa de água a partir de mínimo *per capita* (Tarifa)
- Medidas de gestão: alteração das prioridades de uso entre os setores de irrigação, industrial e aquicultura.

Tais medidas a serem priorizadas se destacam por:

- Ótima relação custo-benefício: entre 0,36 e 0,53;
- Grande potencial de redução de déficit: de 64% a 73% de redução do déficit acumulado em 50 anos;
- Maior potencial de gerar benefícios econômicos: de R\$ 4,15 a 6 bilhões de perdas econômicas evitadas,
- Custo intermediário, compatível com a intensidade das perdas atuais já sentidas e futuras: R\$ 2,2 bilhões em 50 anos.
- Maior abrangência para além do eixo perenizado;
- Intervenções diversificadas: grandes obras, de baixo custo, rurais, de gestão e focadas em diferentes setores.

Debate urgente: as grandes obras

As grandes obras infraestruturais são aquelas responsáveis pela maior geração de benefícios para a bacia, especialmente quando implementadas em conjunto (redução de até 67% do déficit da bacia em 50 anos), a despeito de representarem 72% do custo total do grupo de medidas recomendadas.

Em todos os casos, o aumento de disponibilidade proporcionado por essas medidas deve servir à redução dos déficits hídricos e não promover ímpeto para o desenvolvimento de novas atividades intensas no uso de água.

Início imediato com foco nos usos difusos rurais

A implementação de **barragens subterrâneas** e de **poços em área rurais**, possui custo relativamente baixo, RCB muito vantajosa e benefícios imediatos e evidentes. Outra característica crucial de ambas é sua abrangência territorial em regiões menos contempladas pelo eixo perenizado e pelas grandes obras infraestruturais (existentes e previstas). Há desafios para a implementação efetiva dessas medidas difusas e de característica localizada: a atribuição de responsabilidades, custeio, monitoramento e engajamento, entre outros. Recomenda-se o levantamento de experiências e aprendizados de iniciativas já existentes dentro e fora da bacia.

Fomentar ações por parte dos grandes irrigantes: manejo da irrigação e atualização dos perímetros irrigados públicos

Medidas de eficiência focadas nos grandes irrigantes possuem alto potencial de abatimento de déficits (pelo menos 15% do déficit do setor, 9% do déficit da bacia em 50 anos). As ações previstas para esse setor devem direcionar esforços de convencimento baseados em dados técnicos para a **adoção voluntária por parte de grandes irrigantes de técnicas eficientes de manejo de irrigação**. Os custos de tais medidas não são altos (cerca de 4,5% do total para a implantação de todas as medidas aqui previstas), sendo que os benefícios econômicos e de aumento de resiliência recaem sobre o próprio setor de irrigação.

A atualização dos perímetros públicos de irrigação, também é recomendada, uma vez que mesmo com atuação pontual, têm impacto significativo na redução do déficit hídrico do setor (até 8% em 50 anos). Uma vez retomada a produção, após o recente período de crise, serão necessárias ações políticas para condicionar tais perímetros, com incentivos ou não, ao emprego de novas práticas mais eficientes de uso da água.

Finalmente, as medidas de adaptação voltadas ao setor da agricultura, mesmo se adotadas em sua plenitude, ainda não são suficientes para torná-lo resiliente. Assim, recomenda-se iniciar um debate amplo e qualificado na bacia sobre as possibilidades de se mudar seu perfil agrícola, mais voltada para culturas de menor consumo hídrico e maior valor agregado. Nessa linha, simulações hipotéticas demonstraram um potencial de geração de benefícios líquidos da ordem de R\$ 1 bilhão ao longo de 50 anos.

Abastecimento urbano: novas políticas tarifárias e redução de perdas na rede

As duas principais medidas com foco no meio urbano devem ser estreitamente articuladas com as companhias de saneamento da região, sendo ações de sua competência direta e complementares em custos e arrecadações.

O **combate às perdas na rede de distribuição** é uma ação consagrada em qualquer planejamento. Atingir a meta do PlanSab para a região se revelou uma medida *low-regret*, devido ao seu alto custo, mas que proporciona benefícios elevados e se mostra um bom investimento nas condições mais prováveis de implementação. Mais detalhamentos são necessários para que quaisquer decisões de investimento levem em conta as peculiaridades de cada município, como o fato de que alguns ainda nem possuem rede plenamente desenvolvida.

Novas políticas tarifárias que incentivem o uso racional da água tratada, como a adoção de mínimo *per capita* e tarifas mais altas para faixas de consumo maiores, possuem alto potencial de abatimento de déficits. Resta clara a necessidade e importância da adoção de alguma política nessa direção, que expresse melhor o alto valor econômico do recurso ao usuário final, em especial na região de interesse, sempre resguardando o direito de um consumo mínimo para usos básicos aos cidadãos.

Tal medida apresentaria custos diretos aos usuários na conta de água gerando mudanças de comportamento. Sua implementação exige investimentos para a universalização de micromedição. O excedente de arrecadação para as companhias seria suficiente para reinvestir na ampliação da política de saneamento, assim como financiar a redução de perdas na rede, sendo este um bom elemento para diálogo com as companhias e, até mesmo, para comunicação junto aos usuários finais.

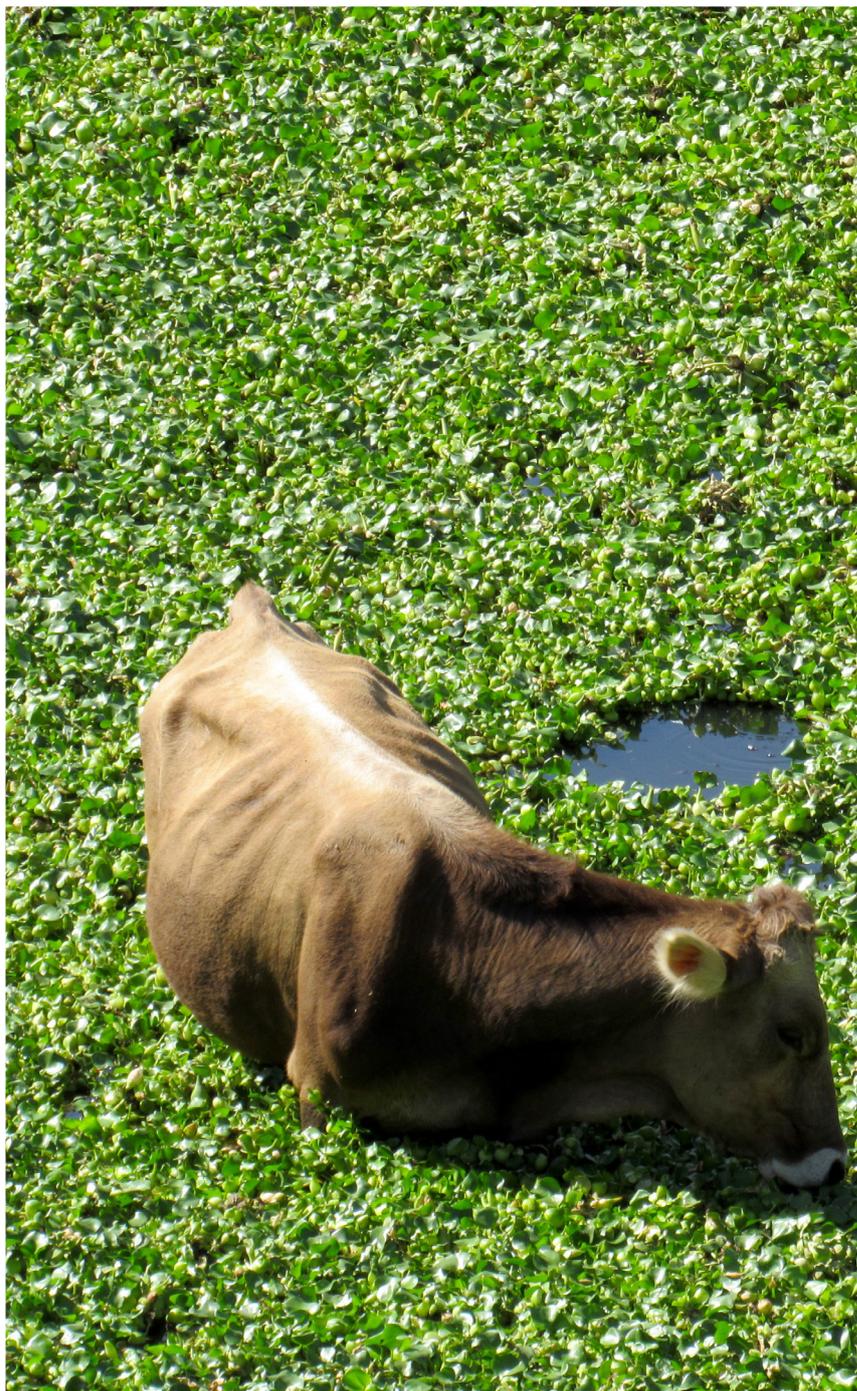
Embora trate-se de um exercício, a implementação de uma política tarifária com essas características pode assumir diversos formatos a serem estudados em mais profundidade.

Diálogo com a indústria: maior beneficiado do reúso

Embora a medida estudada seja a adoção e expansão da prática de utilização de reúso de água industrial, a principal conclusão é que, devido ao alto valor agregado relativo que a indústria possui com o uso da água, **quaisquer ações que tornem a indústria menos dependente desse recurso trazem altos benefícios econômicos para a bacia como um todo.**

O estudo revela que o principal setor beneficiado por ações de redução de consumo de água é a própria indústria. Assim, tais medidas podem e devem ser implementadas pelo próprio setor industrial. No entanto, é sabido que é necessário esforço de convencimento e conscientização, que pode ou não passar por incentivos governamentais iniciais.

Recomenda-se, portanto, o estreito, e célere, diálogo entre os planejadores de recursos hídricos, governos estaduais e locais, indústrias da bacia, associações de classe, federações e outros, munidos de informações técnicas e objetivas que demonstrem os benefícios de uma indústria menos dependente de água na bacia do Piancó-Piranhas-Açu. Além disso, é relevante fomentar o debate sobre o perfil de desenvolvimento industrial previsto e possível para a região, à luz dos cenários futuros de escassez.



Negociação entre agricultura, indústria e aquicultura pela prioridade de uso

Os setores de irrigação, indústria e aquicultura apresentam consideráveis diferenças no valor econômico que geram a partir da água como insumo produtivo. A simulação de alterações nas prioridades de atendimento, em detrimento do primeiro e em favor dos outros, demonstra que os benefícios de uma maior alocação para indústria e aquicultura mais do que compensam o aumento dos déficits para a irrigação.

É oportuna, portanto, a discussão acerca de **mecanismos que permitam tal realocação de água**, com a devida compensação aos produtores rurais. Há, naturalmente, custos de ordem política associados a quaisquer mudanças institucionais e alocativas.

A prioridade de uso para a aquicultura resultaria em até R\$ 418 milhões a mais gerados pelo setor e implicaria em perdas de apenas R\$ 17 milhões para a irrigação.



Consideração para o futuro: não descartar a planta de dessalinização de grande porte

O estudo mostrou que a implementação de uma planta de dessalinização de grande porte na região costeira não deve ser prioritária no momento. Embora também considerada uma medida *low-regret*, ela possui custos muito altos que se igualam aos benefícios por ela trazidos, sendo custo-benéfica somente a longo prazo. Além disso, trata-se de uma tecnologia incipiente no país e apresenta certa redundância com a transposição do rio São Francisco.

Por outro lado, recomenda-se não descartar a sua consideração nos futuros planejamentos da bacia. Esta confere alta segurança hídrica à região, representa uma nova fonte de água, próxima a locais de elevado consumo e alta produção econômica, de forma que sua tecnologia possuiu potencial de evolução e reduções de custos nos próximos anos.



9

CONSIDERAÇÕES FINAIS



A Análise Custo-Benefício (ACB) de Medidas de Adaptação à Mudança do Clima desenvolvida na bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu representa um passo adiante no refinamento da aplicação de ferramentas de gestão do risco climático para a tomada de decisão. O processo conduzido para sua realização envolveu não só o aprimoramento do método, como resultou em conclusões preciosas para o planejamento hídrico no nível local.

A aderência dos dados obtidos reforça o caráter prático de uma ACB e seu potencial de replicação para outras regiões, reconhecidas as devidas demandas de um estudo desse porte e com essa relevância. Os aprendizados obtidos através de cada uma de suas etapas evidenciam o potencial das contribuições da ACB: desde possibilitar reco-

mendações concretas para a bacia, compilar e sistematizar o conhecimento existente, até mobilizar diferentes atores e colocar em perspectiva as bases de dados e estudos já produzidos.

Desse processo, constatou-se que a bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu apresenta está susceptível a um considerável risco climático decorrente de eventos de escassez hídrica. Esse risco pode chegar a 4% do PIB gerado no local, projeção essa que converge com o custo da crise atual que se abateu sobre o semiárido brasileiro nos últimos anos. Segundo as estimativas apresentadas, a escassez hídrica que se iniciou em 2012 custou, até meados de 2017, mais de que R\$ 3 bilhões, valor equivalente a 3,07% do PIB da bacia.



Há, não obstante os riscos antevistos, diversas possibilidades de mitigação desse quadro. O teste de medidas adaptativas ilustrou o comportamento de ações robustas e assertivas sob diversos aspectos, compondo um rol de opções sem arrependimento (*no-regret*). Adicionalmente, testaram-se 15 combinações de medidas, agrupadas em cinco critérios, que ilustram possíveis diretrizes de ação para a bacia dos rios Piancó-Piranhas-Açu.

Os resultados ilustram a possibilidade de se abater mais da metade do custo climático mediante o aporte concomitante de medidas que abrangem todos os setores usuários e uma vasta combinação entre maior eficiência econômica, obras hidráulicas e soluções para os habitantes rurais da bacia. Por meio desse estudo, a ACB é consolidada como uma

ferramenta de interesse nos processos de tomada de decisão para adaptação à mudança do clima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Piranhas-Açu. Agência Nacional das Águas - ANA. Brasília, p. 345. 2016.
- ANA. Estudo para Refinamento do Balanço Hídrico e Estabelecimento de Regras Operativas para 204 Reservatórios no Semiárido. Agência Nacional de Águas - ANA; ENGECORPS ENGENHARIA S.A. Brasília/São Paulo. em andamento.
- FUNCEME. Análise das Mudanças de Clima na Hidrologia dos Hidrossistemas Estudados nas Bacias dos Rios Jaguaribe e Piranhas-Açu - Projeto De Cooperação Técnica ANA-UFC N° 003/2013. Agência Nacional das Águas - ANA/Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - FUNCEME. Brasília/Ceará. em andamento.
- IBGE. Projeção da População Brasileira. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2013.
- ADLER, M. D.; POSNER, E. A. Rethinking Cost-Benefit Analysis. University of Chicago Law School. Chicago, IL, p. 72. 1999.
- ANA. Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos. Agência Nacional de Águas. Brasília, DF. 2013.
- ANA. Metas, Programas, Medidas Emergenciais e Programa de Investimentos do PRH Piranhas-Açu. Agência Nacional de Águas. Brasília, DF, p. 260. 2014.
- ANA. Plano de Recursos Hídricos: Piancó-Piranhas-Açu. Agência Nacional de Águas. Brasília, DF, p. 159. 2016a.
- ANA. Estudo para Refinamento do Balanço Hídrico e Estabelecimento de Regras Operativas para 204 Reservatórios no Semiárido. Agência Nacional de Águas - ANA; ENGECORPS ENGENHARIA S.A. Brasília/São Paulo. em andamento.
- BAIRD, B. F. Managerial decisions under uncertainty, an introduction to the analysis of decision making. New York: Wiley, 1989.
- ECONOMICS OF CLIMATE ADAPTATION WORKING GROUP. Shaping climate-resilient development: a framework for decision-making. ClimateWorks Foundation, Global Environment Facility, European Commission, McKinsey & Company, The Rockefeller Foundation, Standard Chartered Bank & Swiss Re. [S.l.], p. 164. 2009.
- GVCES. Produto 3.0 - Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (Economics of Climate Adaptation) em região e setor acordados. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, SP, p. 66. 2014.
- GVCES. Planejamento público em adaptação à mudança do clima: Principais conceitos e aprendizados a partir de experiências internacionais. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, p. 69. 2016.
- HOWE, C. W.; COCHRANE, H. C. Guidelines for the uniform definition, identification, and measurement of economic damages from natural hazard events: With comments on historical assets, human capital, and natural capital. FMHI Publications, 1993. 1-20. Paper 64.
- IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. World Meteorological Organiza-

tion. Genebra. 2014. A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014b.

QUAY, R. Anticipatory Governance: A Tool for Climate Change Adaptation. *Journal of the American Planning Association* v. 76, 2010. 496-511.

GVCES. Contribuições para o planejamento público em adaptação: experiências e percepções de atores envolvidos (públicos e privados) sobre o tema adaptação à mudança do clima na indústria brasileira. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, p. 67. 2016.

GVCES. Planejamento público em adaptação à mudança do clima: Principais conceitos e aprendizados a partir de experiências internacionais. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas. São Paulo, p. 69. 2016.

Barnett, J., & O'Neill, S. Editorial: Maladaptation. *Global Environmental Change*, 20, 211–213. 2010.

BAUER, A., FEICHTINGER, J., & STEURER, R. The governance of climate change adaptation in ten OECD countries: Challenges and approaches. Vienna, Austria: Institute of Forest, Environmental, and Natural Resource Policy at the University of Natural Resources and Applied Life Sciences. 2011.

FÜSSEL, H.-M. Vulnerability in Climate Change Research: A Comprehensive Conceptual Framework. eScholarship - University of California. 2005.

FUSSEL, H.-M. Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons. *Sustainability Science*, 2(2), pp. 265-275. 2007.

GARCÍA, L., MATTHEWS, J., RODRIGUEZ, D., WIJNEN, M., DIFRANCESCO, K., & Ray, P. Beyond Downscaling: A Bottom-Up Approach to Climate Adaptation for Water Resources Management. World Bank Group. Washington, DC: AGWA Report 01. 2014

GVCES Relatório final sobre dimensões temporal, espacial e temática no planejamento de adaptação às mudanças climáticas. Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo (EAESP/FGV), São Paulo.

GVCES. Relatório final de recomendações para uma estratégia nacional em adaptação (Parte I/III). Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces), EAESP-FGV, São Paulo. 2014.

GVCES. Relatório Final de Recomendações para um estratégia nacional de adaptação: Metodologias para identificação e priorização de medidas de adaptação (Parte II/III). 2014.

GVCES; MMA. Produto 3.0 - Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (Economics of Climate Adaptation). São Paulo, SP: Centro de Estudos em Sustentabilidade da Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas (GVces/FGV-EAESP). 2014.

HALLEGATTE, S., LECOCQ, F., & PERTHUIS, C. Designing Climate Change Adaptation Policies - An Economic Framework. The World Bank. 2011

HELGESON, J., & ELLIS, J. The role of the 2015 agreement in enhancing adaptation to climate change. OECD, Paris. 2015.

IPCC. (2014). Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 2014.

KLEIN, R., ERIKSEN, S., & NÆSS, L. O. Portfolio screening to support the mainstreaming of adaptation to climate change into development assistance. Research Working Paper 102, Tyndall Centre for Climate Change R. 2007

KLEIN, R., LISA SCHIPPER, E., & DESSAI, S. Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. Working Paper No. 40, Tyndall Centre for Climate Change Research. 2003.

MILLY, P. C. D., Betancourt, J., Falkenmark, M., Hirsch, R. M., Kundzewicz, Z. W., Lettenmaier, D. P., & Stouffer, R. J. (2008). Stationarity is dead: Whither water management?. *Science*, 319(5863), 573-574.

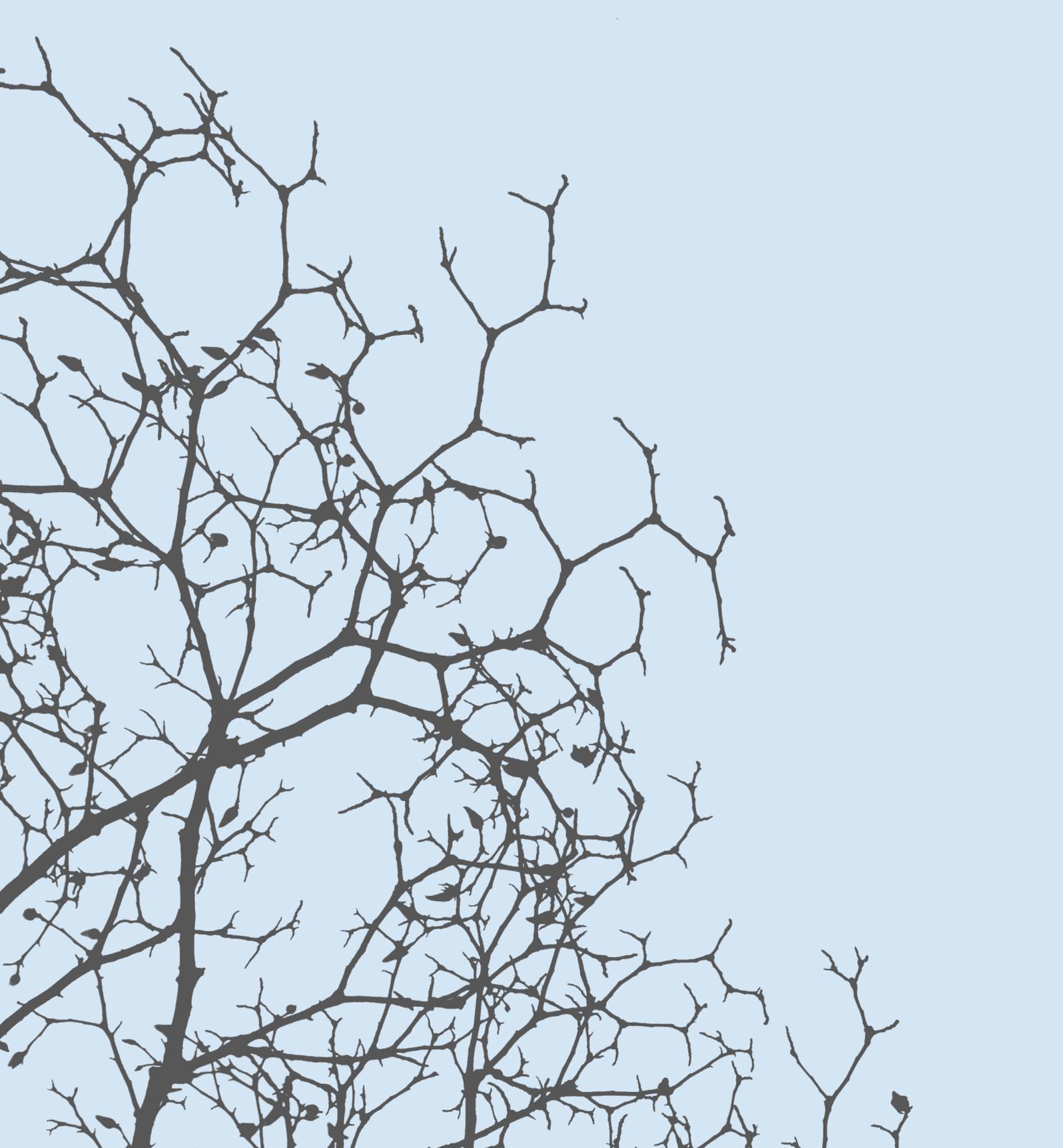
O'BRIEN, K., ERIKSEN, S., SCHJOLEN, A., & NYGAARD, L.. What's in a Word? Conflicting Interpretations of Vulnerability in Climate Change Research. CICERO Working Paper(4). 2004.

WAGNER, G., & WEITZMAN, M. L. . Climate Shock: The Economic Consequences of a Hotter Planet. Princeton, New Jersey: Princeton University Press. 2015.

WILBY, R. L., & DESSAI, S. Robust Adaptation to Climate Change. *Weather*, 65(7), pp. 180-185. 2010. 2010

HALLEGATTE, Stéphane; LECOCQ, Franck; PERTHUIS, Christian. Designing Climate Change Adaptation Policies: An Economic Framework. Washington DC: The World Bank. 2011.

KISSLER, Leo; HEIDEMANN, Francisco. Governança pública: novo modelo regulatório para as relações entre Estado, mercado e sociedade? *Revista de Administração Pública*, Vol. 40, pp. 479-498. Rio de Janeiro: s.n.. 2006.



FGV EAESP
*Centro de Estudos
em Sustentabilidade*

 **ANA**
AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS

**MINISTÉRIO DO
MEIO AMBIENTE**

**GOVERNO
FEDERAL**

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-94017-10-9



9 788594 017109

Designed by ilovehz / Freepik