

PRODUTO 3.0 - RELATÓRIO DA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA CUSTO/BENEFÍCIO (ECONOMICS OF CLIMATE ADAPTATION)

NOVEMBRO, 2014

O presente documento trata-se do PRODUTO 3.0 - Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (*Economics of Climate Adaptation*) em região e setor acordados, conforme previsto no Plano de Ação (Produto 1) do Contrato Administrativo Nº 001 /2012, Processo Nº 02000.001975/2011-41 do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

ESTUDO

Relatório da aplicação de metodologia custo-benefício (*Economics of Climate Adaptation*)

APOIO

Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Agência Nacional de Águas (ANA)

PROJETO

Desenvolvimento de uma base de fatos para a componente adaptação do Plano Nacional sobre Mudança do Clima.

ORGANIZAÇÃO RESPONSÁVEL

Fundação Getúlio Vargas (FGV)

Centro de Estudos em Sustentabilidade (GVces) da

Escola de Administração de Empresas de São Paulo (EAESP)

COORDENAÇÃO GERAL DO ESTUDO

Mario Monzoni

COORDENAÇÃO EXECUTIVA DO ESTUDO

Guarany Osório

COORDENAÇÃO TÉCNICA DO ESTUDO

Alexandre Gross

EQUIPE

Daniel Tha

Juliana Monti

Rodrigo Carneiro

Susian Martins

COLABORAÇÃO

Joaquin I. Bonnecarrère Garcia, João R. B. Tercini, Andre Schardong, Cristiano de P. M. Oliveira, Daniela M. Rossi

AGRADECIMENTO

Agradecemos à equipe da Secretaria de Mudanças Climáticas e Qualidade Ambiental do Ministério do Meio Ambiente (MMA) especialmente a Karen Silverwood-Cope, Nelcilândia P. de Oliveira, Mariana Egler e à equipe da Agência Nacional de Águas (ANA) especialmente ao Bruno Pagnoccheschi, Alexandre Resende e toda a equipe da ANA que participou e acompanhou diretamente a elaboração deste estudo pelas relevantes contribuições.

SUMÁRIO

1	Introdução	7
2	Objetivo geral	9
3	Objetivo específico	10
4	Apresentação do método base: ACB e Economics of Climate <i>Adaptation</i>	11
4.1	O que é uma análise de custo-benefício	11
4.2	O que é a <i>Economics of Climate Adaptation</i> e seus principais passos	14
5	Análise de custo benefício em recursos hídricos	18
5.1	Elementos para a pergunta 1 e 2 em recursos hídricos	18
5.2	Tipos de modelos, ferramentas e cenários necessários	19
5.3	Como responder - medidas de adaptação em recursos hídricos	22
6	Aplicação - Pergunta 1: Onde e de quê estamos em risco	24
6.1	Onde: área de estudo	24
6.2	De quê: risco de interesse	27
7	Aplicação - Pergunta 2: Qual a magnitude da perda?	47
7.1	Magnitude da perda no abastecimento	48
7.2	Magnitude da perda na indústria	50
7.3	Magnitude da perda nos usos rurais	53
7.4	Magnitude da perda pelo impacto na qualidade da água	55
7.5	Magnitude da perda total	58
8	Aplicação - Pergunta 3: Como responder? Medidas de adaptação	60
8.1	Definição de medidas de adaptação possíveis	60
8.2	Medidas analisadas	62
8.3	Cálculo dos custos de implementação das medidas adaptativas	64
8.4	Cálculo dos benefícios (perdas evitadas) das medidas adaptativas	67
9	Aplicação - Resultados: custo-benefício das medidas	69
9.1	Impactos físicos das medidas (demandas e déficits)	69
9.2	Razão Custo/Benefício das medidas	72
10	Conclusão	83
	Anexo 1: Avaliação das Projeções climáticas e modelo chuva-vazão	84
	Anexo 2: Descrição e análise das medidas adaptativas	85
	Anexo 3: Produto 3.1.2 – Relatório da oficina relativa ao Produto 3.0 (2/07/2014; Brasília)	86
11	Bibliografia	87

Quadros

Quadro 1: Valoração econômica de serviços ambientais em recursos hídricos	13
Quadro 2: Exemplos de órgãos presentes na governança em RH na Bacia do PCJ	26
Quadro 3: Simplificações e aumento de transparência	31
Quadro 4: Fatores de incerteza dos cenários de clima	40
Quadro 5: Usando estimativas de perdas esperadas	47
Quadro 6: Custos de oportunidade na indústria	52
Quadro 7: Valoração das perdas no setor elétrico	58
Quadro 8: Valoração dos serviços ecossistêmicos	58
Quadro 9: Taxa de desconto	66

Figuras

Figura 1: Etapas do método ECA	14
Figura 2: Expectativa de perda em função do clima.....	16
Figura 3: Fluxograma de elementos para pergunta 1 e 2 em recursos hídricos	18
Figura 4: Modelos e ferramentas que suportam os elementos do fluxograma	21
Figura 5: Elementos onde a pergunta 3 incide	22
Figura 6: Localização da Bacia PCJ	24
Figura 7: Uso e ocupação do solo na Bacia do PCJ	26
Figura 8: População na Bacia do PCJ em 2012 e projetada para 2050.....	33
Figura 9: Projeções do PIB (milhões R\$) da Bacia comparado a MG e SP	33
Figura 10: Projeções do VAB (agro, industrial e serviços) na Bacia (milhões R\$)	34
Figura 11: Participação relativa dos setores econômicos na bacia (2012 e 2050), nos estados de SP, MG, Sudeste e Brasil (2012)	34
Figura 12: Demanda em 2012 e projetada (2050) por uso na bacia (l/s)	37
Figura 13: Participação relativa dos usos na demanda total da bacia (%)	37
Figura 14: Postos pluviométricos utilizados no estudo	39
Figura 15: Exemplo de teste de consistência aplicado ao viés da previsão	40
Figura 16: Precipitação média na bacia: histórica (1976-2005), projetada (2030-50; 2040-60; 2050-70).41	
Figura 17: Exemplo de vazões projetadas nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para a bacia do Piracicaba (períodos 2030-50, 2040-60; 2050-70).....	43
Figura 18: Demanda hídrica e déficit hídrico em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s)	44
Figura 19: Déficit hídrico para uso doméstico, industrial e rural em 2050 nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s).....	45
Figura 20: Déficit hídrico de abastecimento por município em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 E RCP 8.5 (L/S)	45
Figura 21: Déficit hídrico para uso industrial por município em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s).....	45
Figura 22: Déficit hídrico para usos rurais por município em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s).....	46
Figura 23: Projeção do déficit máximo (L/s) e percentual de déficit máximo (%) para os municípios nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s).....	46
Figura 24: Perdas em abastecimento para os municípios da Bacia PCJ nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (mil R\$)	49
Figura 25: Perdas esperadas no abastecimento nos cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5(milhões R\$) ...	50
Figura 26: Perdas na indústria por município da Bacia PCJ nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (mil R\$)52	
Figura 27: Perdas esperadas na indústria (cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5) (bilhões R\$).....	53
Figura 28: Perdas no setor rural por município da Bacia PCJ nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (mil R\$)	55
Figura 29: Perdas esperadas no setor rural (cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5) (milhões R\$)	55
Figura 30: Perdas com qualidade por município da Bacia PCJ nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (mil R\$).....	57
Figura 31: Perdas esperadas com qualidade da água nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 de MC (milhões R\$)	58
Figura 32: Perdas absolutas e percentuais por setor nos cenário RCP 4.5 e RCP 8.5 (milhões R\$).....	59

Figura 33: Perdas esperadas na Bacia (cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5) (bilhões R\$)	59
Figura 34: Medidas adaptativas levantadas durante a oficina	61
Figura 35: Recálculo das perdas esperadas utilizando novos parâmetros das medidas	67
Figura 36: Cálculo do benefício – perda evitada	67
Figura 37: Redução percentual de demanda com a aplicação das medidas adaptativas	69
Figura 38: Variação percentual no déficit hídrico com aplicação das medidas adaptativas para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.....	70
Figura 39: Redução do déficit hídrico com aplicação das principais medidas as adaptativas para o cenário RCP 4.5 em (l/s)	71
Figura 40: Redução do déficit hídrico com a aplicação das principais medidas para o cenário RCP 8.5 (em l/s).....	71
Figura 41: Custo/Benefício (esquerda) e Benefício total em milhões R\$ (direita) das medidas adaptativas	74
Figura 42: Benefício por setor com a aplicação das medidas nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5	75
Figura 43: Curva Custo/Benefício e Benefício total (milhões R\$) das medidas adaptativas no cenário RCP 4.5 e 8.5	76

Tabelas

Tabela 1: Municípios que juntos representam mais de 50% do PIB da Bacia	34
Tabela 2: Medidas adaptativas avaliadas no âmbito da ACB	63
Tabela 3: Combinações de medidas adaptativas analisadas segundo ACB.....	64
Tabela 4: Razão Custo/Benefício nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.....	72

Lista de siglas

ACB: Análise Custo-Benefício
ANA: Agência Nacional de Águas
ARES PCJ: Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento da Bacia PCJ
Bacia PCJ: Bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí
CPTEC: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DBO: Demanda Biológica por Oxigênio
ECA: Economics of Climate Adaptation
GCM: Global Climatic Models
GEE: Gases do Efeito Estufa
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
IPD: Índice de Perdas na Distribuição
MC: Mudanças Climáticas
MMA: Ministério do Meio Ambiente
OMS: Organização Mundial da Saúde
ONG: Organização Não Governamental
ONU: Organização das Nações Unidas
PAM: Produção Agrícola Municipal
PIB: Produto Interno Bruto
PPM: Pesquisa Pecuária Municipal
RCB: Relação Custo-Benefício
RCP: Representative Concentration Pathways
RH: Recursos Hídricos
SABESP: Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS: Sistema Nacional de Informações de Saneamento do Ministério das Cidades
SSD PCJq: Sistema de Suporte a Decisão da Bacia PCJ
TIR: Taxa Interna de Retorno
VAB: Valor Agregado Bruto
VPL: Valor Presente Líquido

1 INTRODUÇÃO

Dentro de um cenário de mudanças climáticas iminentes que trazem impactos traduzidos em desastres naturais e escassez de recursos naturais, medidas adaptativas devem ser pensadas como alternativas para evitar danos maiores à sociedade afetada. Dentre as diversas etapas do planejamento necessário, este estudo objetiva explorar a fase de priorização das medidas de adaptação a serem implementadas aprofundando o entendimento do método de análise de custo-benefício - ACB de medidas através de uma aplicação didática e prática do método *Economics of Climate Adaptation -ECA* (CLIMATEWORKS FOUNDATION, 2009) em uma região e tema definidos.

A fim de cumprir com o objetivo geral, foi acordado fazê-lo em um tema de interesse conjunto do Ministério do Meio Ambiente – MMA e Agência Nacional de Águas – ANA, ou seja recursos hídricos dentro de uma bacia hidrográfica federal. Dada a característica experimental e didática¹ do estudo, decidiu-se, em conjunto com o MMA e ANA, pela escolha da bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), por ser uma bacia com grande quantidade de informações disponíveis. Igualmente a aplicação é focada nos usos para abastecimento urbano, industrial e irrigação e nos riscos associados a escassez hídrica no futuro.

Assim, o documento foi organizado de maneira que fique claro para o leitor cada passo da metodologia utilizada. A primeira parte do relatório apresenta os conteúdos teóricos utilizados para o desenvolvimento do estudo. Portanto, são apresentados os métodos de base do estudo; ACB, a metodologia *Economics of Climate Adaptation*, assim como os elementos que devem ser identificados para responder a cada passo da metodologia aplicada a recursos hídricos.

Na segunda parte do relatório são apresentados os elementos práticos utilizados no estudo para a aplicação. Sendo assim, são apresentadas as metodologias usadas para definição das projeções climáticas, socioeconômica e qual o impacto das mudanças climáticas previsto para o abastecimento urbano, a indústria e o setor rural nos cenários futuros projetados para a região de estudo.

Uma vez definidos o cenário climático e sua influência nos recursos hídricos na Bacia do PCJ, são aplicados métodos de valoração nos principais ativos impactados por essas mudanças, como, por exemplo, a produção industrial da bacia. Assim, são calculadas as perdas nesses setores nos cenários sem mudanças climáticas e o adicional de perda por conta das mudanças climáticas, constituindo o risco climático total.

Por fim, são levantadas e analisadas medidas adaptativas para mitigar os impactos da escassez hídrica para cada um dos usos de água definidos. Assim, as últimas seções do relatório mostram a aplicação da ACB para cada uma das medidas adaptativas definidas, apresentando os resultados da análise e as perdas evitadas com a aplicação hipotética de cada uma delas.

¹ Apesar do esforço de se utilizar métodos e dados os mais próximos da realidade, a aplicação serve unicamente para um olhar crítico quanto ao método aplicado e seus resultados não devem em hipótese alguma serem utilizados e interpretados como realistas para qualquer tomada de decisão uma vez que existem simplificações e adaptações metodológicas críticas, exigindo um estudo mais aprofundado e completo para tal.

O presente documento trata-se do Produto 3.0: Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (*Economics of Climate Adaptation*) em região e setor acordados, do Contrato Administrativo Nº 001 /2012, Processo Nº 02000.001975/2011-41 do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Assim sendo, o mesmo cumpre com o previsto no Plano de Ação (Produto 1) do contrato supracitado, consistindo em um documento que contém a aplicação da metodologia *Economics of Climate Adaptation* em uma região ou setor ou ecossistema previamente acordado com a equipe do MMA, no caso recursos hídricos na Bacia do PCJ, após o diagnóstico inicial do estado da arte sobre adaptação no Brasil (Produto 2.0).

Igualmente, como previsto no seu detalhamento no Plano de Ação, na seção 6.2 foram identificados os riscos climáticos relevantes para região / setor / ecossistema selecionado, na determinação dos impactos físicos para os três usos (seção 6.2.6) e em toda a seção 7 foi identificado valor dos ativos sob risco hoje e futuramente através das técnicas de valoração aplicadas aos usos de abastecimento, industrial e rural sob risco e finalmente a seção 8 descreve o levantamento da lista de medidas de adaptação possíveis e realiza a análise de custo-benefício.

Optou-se por realizar diversas oficinas e reuniões entre os envolvidos (MMA e ANA) durante o processo de elaboração do produto a fim de promover um maior processo de aprendizado do MMA e ANA (oficina dia 2/07/2014, videoconferência dia 7/10/2014 e reuniões), sendo a última oficina do dia 10/11/2014 a apresentação dos resultados em oficina em Brasília, como previsto.

2 OBJETIVO GERAL

O processo de adaptação às MC enfrenta desafios relacionados à sua alta complexidade, resultado dos diferentes níveis de vulnerabilidade dos sistemas sociais, econômicos e ecológicos para os diversos impactos das alterações climáticas. Concomitantemente à complexidade do problema, as possíveis respostas ao mesmo estão sujeitas a restrições de capital financeiro e humano, portanto é necessário planejamento em adaptação que passe pelo entendimento do problema, análise de opções e priorização das medidas possíveis e sua implementação (UNEP, 1998). Particularmente para a escolha das medidas de adaptação existem métodos de priorização passíveis de utilização, tais como multicritérios, análise custo-benefício, análise custo-efetividade entre outros².

Conforme mencionado anteriormente, o presente estudo busca explorar a fase de priorização das medidas de adaptação a serem implementadas e, assim, estendendo a compreensão acerca do método de análise de custo-benefício por meio de aplicação didática da metodologia *Economics of Climate Adaptation* em região e tema definidos (CLIMATEWORKS FOUNDATION, 2009).

O objetivo geral deste produto é, portanto, testar criticamente o método de custo benefício por meio de uma aplicação teórica e didática do mesmo, sempre que possível e conveniente trabalhando com dados reais, e assim permitir avaliar sua utilidade para a tomada de decisão nas escalas de planejamento federal, levantar possíveis características positivas e ou adaptações necessárias para tal e gerando reflexões e formação dos envolvidos.

² Consultar o Produto 6.0 – Parte II para mais detalhes e características de cada um dos métodos citados.

3 OBJETIVO ESPECÍFICO

A fim de cumprir com o objetivo geral, ou seja, aplicar em caráter didático uma análise custo-benefício usando como base o método *Economics of Climate Adaptation* foi acordado fazê-lo em um tema de interesse conjunto do MMA e ANA, ou seja, recursos hídricos. Igualmente, em se tratando deste tema e do recorte territorial comum no planejamento da ANA, aplicar-se-á o método a uma bacia hidrográfica federal.

Dada a característica experimental e didática do estudo e a restrição de tempo para sua aplicação, decidiu-se, em conjunto com o MMA e ANA, favorável a escolha da bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), por ser uma bacia com grande quantidade de informações disponíveis.

Apesar do esforço de se utilizar métodos e dados os mais próximos da realidade, a aplicação serve para um olhar crítico quanto ao método aplicado e seus resultados não devem ser utilizados e interpretados como realistas para qualquer tomada de decisão sem que haja uma revisão crítica e contextualizada dos mesmos, uma vez que existem simplificações e incertezas que devem ser consideradas. No entanto, devido seu alto grau de aderência com a realidade, próximos estudos mais aprofundados e completos poderão usá-lo como ponto de partida.

Em suma, o objetivo específico trata da aplicação em caráter experimental e didático de uma análise custo-benefício de medidas de adaptação usando como base o método *Economics of Climate Adaptation* na bacia do PCJ voltada ao setor de recursos hídricos e focada nos usos para abastecimento urbano, industrial e irrigação, a fim de identificar aprendizados e dificuldades da aplicação da mesma nesta escala e tema, de interesse do governo federal, em especial o MMA e ANA.

4 APRESENTAÇÃO DO MÉTODO BASE: ACB E ECONOMICS OF CLIMATE ADAPTATION

4.1 O QUE É UMA ANÁLISE DE CUSTO-BENEFÍCIO

Premissas para identificar e priorizar medidas adaptativas

O processo de planejamento da adaptação enfrenta desafios relacionados, principalmente, à sua alta complexidade, resultado dos diferentes níveis de vulnerabilidade dos sistemas sociais, econômicos e ecológicos para os diversos impactos das alterações climáticas, do grande número de atores envolvidos, dos diferentes níveis de tomada de decisão e das relações intersetoriais necessárias.

A identificação de riscos e vulnerabilidades climáticas presente e futura constitui a primeira etapa para a determinação das medidas de adaptação. Esta primeira fase analisa possíveis mudanças nas condições de vulnerabilidade socioeconômica e ambiental, bem como impactos biofísicos e socioeconômicos. Além disto, a capacidade adaptativa do sistema em questão deve ser avaliada.

Após a identificação de riscos e vulnerabilidades que cercam um sistema natural ou social, é importante ranqueá-los de acordo com suas ameaças e impactos. Os critérios para tal dependem das características, interesses e perspectivas de cada País, bem como da avaliação de especialistas.

O ranking e priorização de riscos e vulnerabilidades podem ser utilizados no processo de definição de medidas de adaptação. Ou seja, após definir quais são os principais riscos e vulnerabilidades que cercam um determinado tema, medidas de adaptação devem ser estipuladas para abordar tais demandas.

Além dos critérios para auxiliar na definição de medidas de adaptação são utilizadas ferramentas e métodos para priorizar essas medidas identificadas. A análise de diversos programas nacionais e medidas de adaptação ao redor do mundo permitiu identificar as ferramentas mais utilizadas nos mesmos e que estão mais maduras em termos metodológicos, sendo elas: Análise Custo-Benefício; Análise Custo-Efetividade; Análise Multicritério; e Análise de Equilíbrio Geral.

Dentre as ferramentas apenas citadas, no contexto de adaptação às mudanças climáticas a ACB é a mais eficiente para avaliar medidas adaptativas em termos econômicos e auxiliar no processo de priorização das mesmas.

Análise Custo-Benefício (ACB)

A ACB é mais utilizada quando a eficiência é o principal critério de decisão uma vez que calcula e compara todos os custos e benefícios, expressos em termos monetários. A comparação dos custos e benefícios previstos possibilita que os tomadores de decisão avaliem a eficiência de um investimento em adaptação, sendo que, essa comparação permite medir diversos impactos utilizando uma única métrica monetária, o que facilita na priorização das medidas de adaptação.

Segundo ADLER e POSNER (1999), a ACB é própria para analisar projetos sob a ótica de maximização do bem estar social, uma vez que avalia e compara propostas de mudança ao *status quo*, seja esta promovida pela execução de um projeto ou pela adoção, como aqui tratado, de medidas adaptativas às mudanças climáticas na bacia. A teoria sublinhada é a de

uma melhoria de Pareto, onde uma redistribuição dos benefícios deve ser feita desde que pelo menos um usuário seja beneficiado sem que outros usuários sejam prejudicados como consequência.

Sua mecânica baseia-se na agregação de medidas de mudança nas curvas de utilidade individual, resultando no contraste de curvas representativas do bem-estar social em um cenário *status quo* e o projetado “*estado de mundo com o projeto*” (PEARCE, 1978 apud ADLER e POSNER, 1999). Análises de Custo-Benefício consideram os impactos, em termos microeconômicos, sobre o bem estar e podem embasar políticas públicas correlatas ao projeto ou proposta em questão.

Para considerar custos e benefícios em termos de bem-estar, as análises devem considerar além dos aspectos estritamente financeiros, pois assim falhariam em captar aspectos ambientais e sociais. Uma característica importante do método é justamente a dificuldade de incluir estimativas confiáveis de atributos que não possuem valor de mercado bem definido, mas são de extrema importância, tais como a biodiversidade e os valores culturais. Essa dificuldade faz com que os resultados da análise nem sempre estejam condizentes com a realidade (UNFCCC, 2011).

Não obstante, a inclusão das variáveis representativas do bem estar social que não estejam necessariamente associadas a um mercado (e necessitam, portanto, de valoração específica), é o aspecto chave da metodologia, pois assim permite a fácil comunicação dos resultados sem a perda de profundidade e complexidade existentes. Compara-se a projeção de situações atuais versus alternativas, quantificando ganhos e perdas resultantes (MUNDA, 1996) (ACHARYA, 2000).

Os principais passos para avaliar opções de adaptação utilizando a ACB são descritos abaixo:

1. Determinar um objetivo de adaptação e suas potenciais opções de realização, sendo que o objetivo deve ser bem definido e quantificável em termos monetários;
2. Estabelecer uma linha de base com dois cenários, um sem a aplicação da medida de adaptação e outro com a implementação bem sucedida da opção de adaptação, para assim poder determinar os custos e benefícios comparando-se os dois cenários;
3. Quantificar e agregar os custos sobre períodos de tempo específicos: custos sobre uma medida adaptativa incluem custos diretos e indiretos;
4. Quantificar e agregar os benefícios sobre períodos de tempo específicos: a caracterização dos benefícios de uma medida adaptativa devem incluir os danos evitados decorrentes dos impactos das mudanças climáticas e seus co-benefícios, caso seja relevante;
5. Comparar os custos e benefícios agregados: para escolher uma medida adaptativa é necessário comparar os valores pecuniários³ dos custos e benefícios. Tomadores de decisão podem escolher entre três indicadores para determinar se as suas opções são eficientes, sendo eles: i) Valor Presente Líquido (VPL) para os custos e benefícios e a diferença entre eles. O VPL pode ser usado para priorizar investimentos; ii) Relação Custo Benefício (RCB), isto é, a razão entre o valor presente dos benefícios para o valor presente dos custos, se essa razão for maior que um a medida é aceitável, ou seja, traz mais benefícios monetários que custos. O RCB também é uma opção para determinar a

³ Que consiste em dinheiro

alocação de recursos; iii) Taxa Interna de Retorno (TIR), quanto maior for a TIR de uma opção mais desejável ela se torna.

Quadro 1: Valoração econômica de serviços ambientais em recursos hídricos

As águas de uma bacia prestam serviços ambientais que não encontram necessariamente correspondentes nos valores de mercado dos produtos e serviços que de seu uso emergem. Quando uma fábrica lança seus efluentes no curso d'água, seus custos não se alteram, embora os custos para a sociedade (principalmente daqueles à jusante) aumentam. Os custos privados do poluidor não estão, nesse exemplo, refletindo os custos sociais. A valoração econômica dos recursos naturais é uma forma de expressar, pecuniariamente, a equiparação do custo privado ao custo social, ou público.

A valoração econômica revela valores utilitários, diretos ou indiretos dos recursos naturais⁴. Exemplificam-se como valores de uso direto: i) a pesca; ii) o uso consuntivo para indústrias, irrigação e dessedentação animal; iii) consumo humano; iv) navegação; v) geração de energia elétrica. Já os valores de uso indireto passam por: i) reabastecimento de águas subterrâneas; ii) retenção de sedimentos e nutrientes; iii) prevenção de erosão; iv) habitat para diversas espécies (VAN BEUKERING, ZWARTS, KONE, & WYMENGA, 2005) (TURPIE, BARNES, ARNTZEN, NHERERA, & BUZWAN, 2006) (CONSTANZA, FARBER, & MAXWELL, Valuation and Management of Wetland Ecosystems, 1989).

Seguindo o exemplo da fábrica que lança livremente seus efluentes num rio, mediante a noção monetária do custo adicional causado aos moradores da cidade à jusante, estes poderiam cobrar diretamente da fábrica os recursos cabíveis para que se reparassem os danos causados. A empresa, assim, teria uma escolha clara em pagar pela poluição ou investir em formas de mitigá-la (mediante, por exemplo, uma troca de processo produtivo ou no tratamento de seus efluentes)⁵.

A internalização das externalidades, ou seja, a incorporação do valor do recurso ambiental ao valor de mercado refletiria o real custo de escassez do "fator de produção terra", desencadeando uma realocação dos demais fatores de produção (trabalho e capital) para seus fins mais eficientes.

As principais vantagens e desvantagens da ACB são:

- ACB é importante porque permite comparar e/ou agregar diferentes categorias de custos e benefícios com um único valor;
- Uma grande limitação da ACB é requerer que todos os benefícios sejam monetizáveis, além da sua excessiva ênfase em eficiência;
- A premissa de que projetos ou políticas com a melhor RCB são socialmente atrativas deve-se a ideia de que os projetos e políticas com índice RCB maior que um podem compensar os impactos negativos das mudanças climáticas, se essa compensação ocorre realmente depende da concepção da política de adaptação.

⁴ Há ainda valores de não-uso como beleza cênica e abrigo da vida, cujos cálculos são de difícil sistematização.

⁵ A Lei das Águas (nº 9.433 de 1997) institui o princípio do poluidor-pagador por meio do reconhecimento da água como um bem público dotado de valor econômico.

4.2 O QUE É A *ECONOMICS OF CLIMATE ADAPTATION* E SEUS PRINCIPAIS PASSOS

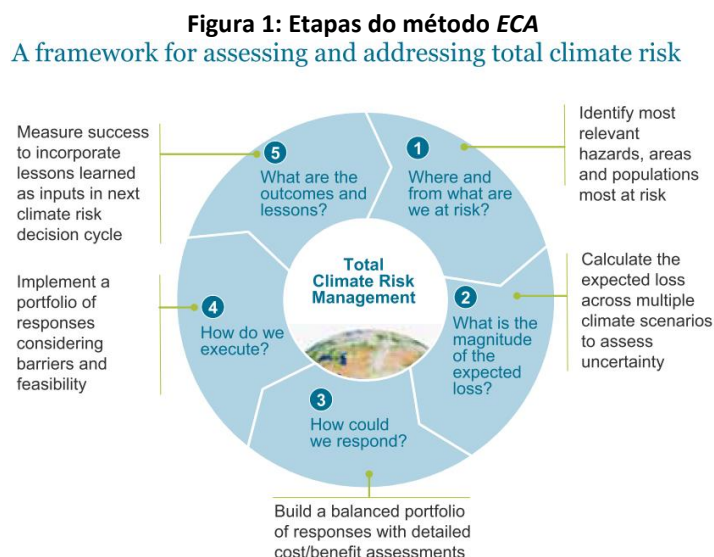
Economics of Climate Adaptation

A metodologia “*Economics of Climate Adaptation*” (ECA) é o produto de um grupo de trabalho formado entre o Fundo Global para o Meio Ambiente, *McKinsey & Company*, *Swiss Re*, Fundação Rockefeller, *ClimateWorks Foundation*, A Comissão Europeia e *Standard Chartered Bank* (CLIMATEWORKS FOUNDATION, 2009).

Nos últimos anos o tema da adaptação às mudanças climáticas se tornou uma prioridade para os tomadores de decisão, para esses formuladores de políticas públicas é necessário elaborar as seguintes questões: Qual o potencial de perda em função do clima para a economia e sociedade nas próximas décadas? Quanto dessa perda pode ser remediada e com quais medidas? Quanto investimento será necessário para financiar essas medidas e os seus benefícios superam os custos?

As medidas de adaptação são capazes de tornar as cidades mais resilientes aos impactos das mudanças climáticas, mas para isso os elaboradores de políticas públicas necessitam dos fatos para serem capazes de identificar os investimentos mais rentáveis.

A metodologia *Economics of Climate Adaptation* (ECA) fornece as informações necessárias aos tomadores de decisão para responder a essas questões de forma que permita compreender os impactos das mudanças climáticas sobre a economia de seu país e identificar ações para minimizar esses impactos. Dessa forma o Estado pode integrar as medidas de adaptação ao seu plano de desenvolvimento de longo prazo. Uma metodologia já consolidada para avaliar o risco climático propõe dividir o projeto em cinco etapas norteadas por perguntas chaves, como demonstrado na Figura 1: Etapas do método .



Fonte: (CLIMATEWORKS FOUNDATION, 2009).

O método possibilita gerenciar o risco climático total através da resposta as seguintes perguntas:

1. Onde e de que estamos em risco?
2. Qual é a magnitude da perda esperada?

3. Como poderíamos responder?
4. Como nós executamos?
5. Quais são os resultados e lições aprendidas?

A *ECA* tem como objetivo fornecer respostas para as três primeiras perguntas, sendo que, seu produto final é a avaliação custo-benefício das medidas adaptativas propostas. Dessa forma, fica a cargo dos formuladores de políticas públicas, decidir quais as melhores opções, e quais serão os mecanismos de avaliação das mesmas.

Fica claro que a *ECA* não possui mecanismos para avaliar as instituições governamentais, os instrumentos de gestão ou a eficiência da aplicação das medidas propostas, uma vez que esse não é o objetivo do método.

1. Onde e de que estamos em risco

O primeiro passo na análise para uma dada localização, setor econômico e população afetada é identificar os riscos⁶ mais relevantes e analisar os eventos históricos. Para conseguir realizar essa identificação é necessário compilar e analisar algumas informações, são elas: histórico de temperatura, precipitação e eventos extremos; análise da comunidade científica e de especialistas da área sobre o risco climático com maior potencial de impacto; estatísticas acerca da frequência e gravidade de eventos climáticos específicos; identificar as regiões mais expostas aos riscos levantados.

A metodologia *ECA* avalia o risco climático total, definido pelo risco proveniente das mudanças climáticas, somados aos riscos existentes baseado em trajetórias socioeconômicas previstas. Para realizar essa avaliação são necessários cenários futuros do clima (no qual teremos que nos adaptar) e cenários futuros socioeconômicos da região definida.

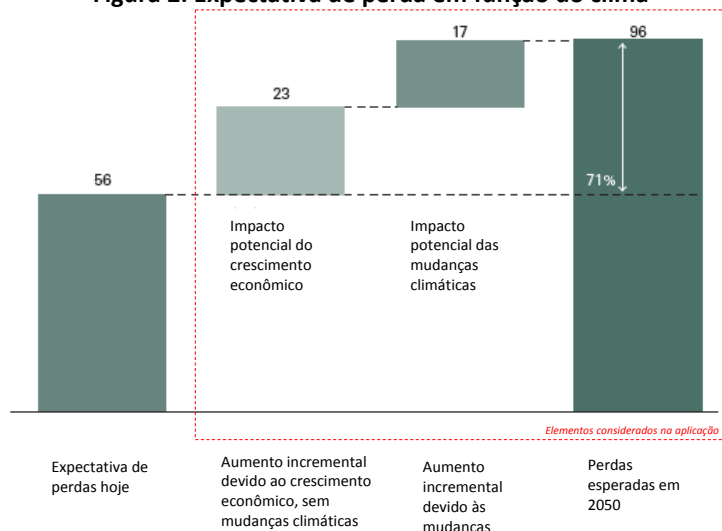
2. Qual é a magnitude da perda esperada

A análise de informações sobre a região em estudo possibilita a modelagem da perda econômica esperada para hoje e o impacto incremental no crescimento econômico devido à influência das mudanças climáticas. Dentre os vários fatores analisados, medir o impacto das mudanças climáticas no futuro é o mais difícil em função das incertezas envolvidas. A análise de cenários é uma forma de diminuir essa incerteza, construindo, por exemplo, três cenários de risco climático: clima hoje, mudanças climáticas moderadas e mudanças extremas no clima para o futuro. A Figura 2 mostra um exemplo da composição do risco climático total em 2050 de uma região ou setor⁷.

⁶Risco: combinação da probabilidade de ocorrência de um evento e dos impactos ou consequências associadas a esse evento (WILLOWS, REYNARD, *et al.*), (tradução livre). Probabilidade é “a chance de alguma coisa acontecer” (AS/NZS, 2009).

⁷ Na aplicação desse estudo não será calculado o risco atual das mudanças climáticas e sim a variação entre o impacto potencial do crescimento econômico e o impacto potencial das mudanças climáticas para o ano de 2050.

Figura 2: Expectativa de perda em função do clima



Fonte: Adaptado (BRESCH & SPLEGEL, 2011).

Para avaliar os impactos das mudanças climáticas no futuro são construídos três potenciais cenários de clima: O primeiro avalia o risco climático hoje, o segundo leva em consideração um impacto moderado das mudanças climáticas para um período futuro pré-determinado e o terceiro um impacto extremo das mudanças climáticas, considerando o mesmo período anterior.

Essa etapa do processo pode ser sistematizada através dos seguintes passos:

- Desenvolver cenários de mudanças climáticas para a gravidade e frequência do risco selecionado;
- Estimar tamanho e localização de futuros ativos;
- Avaliação de vulnerabilidade e criação de curvas de vulnerabilidade relacionando valor sob risco com eventos de diferentes gravidades;
- Desenvolver cenários de mudanças climáticas, com horizonte temporal determinado, capazes de avaliar o clima atual sem mudanças climáticas; mudanças climáticas moderadas e mudanças climáticas extremas;

3. Como poderíamos responder

Após responder às questões anteriores é necessário construir um portfólio de medidas adaptativas, avaliar os potenciais de perda e a relação custo-benefício para cada medida de adaptação.

Essa etapa do processo pode ser sistematizada através dos seguintes passos:

- Lista de medidas que oferecem opções para mitigar, prevenir e transferir riscos;
- Determinar viabilidade e aplicabilidade das medidas potenciais;
- Calcular custos para cada medida;
- Calcular perda esperada evitada para cada medida;
- Criar a curva de custo-benefício para todas as medidas.

Limitações da Metodologia

A metodologia ECA possui algumas limitações que limitam ou impossibilitam o seu uso em todas as estratégias de adaptação de um País, são elas:

- Não aborda alguns aspectos importantes sobre adaptação, tais como, avaliação das escolhas de políticas públicas ou regulamentação; avaliação da ciência do clima; cálculo do custo global de adaptação; outras abordagens metodológicas existentes;
- Foco em perdas esperadas e medidas de adaptação em nível local, ao assumir que as mudanças climáticas terão impactos locais mais significativos e urgentes;
- Os resultados da curva de custo-benefício oferecem uma lista de possibilidades de ação para os tomadores de decisão e não uma resposta explícita com o portfólio ideal de medidas para uma região.

Adaptações necessárias da ECA

Apesar de a metodologia propor o cálculo dos custos em função das mudanças climáticas, para determinada localidade nos dias atuais, essa etapa será considerada como zero no piloto, serão calculados os custos dos impactos futuros, para cinquenta anos, e utilizado o delta entre os dois períodos. Essa mudança conceitual se deve em função da dificuldade em calcular o risco de oportunidade presente perdido em função das mudanças climáticas, porém não impacta no principal objetivo da metodologia que é indicar as medidas com melhor relação custo-benefício no futuro.

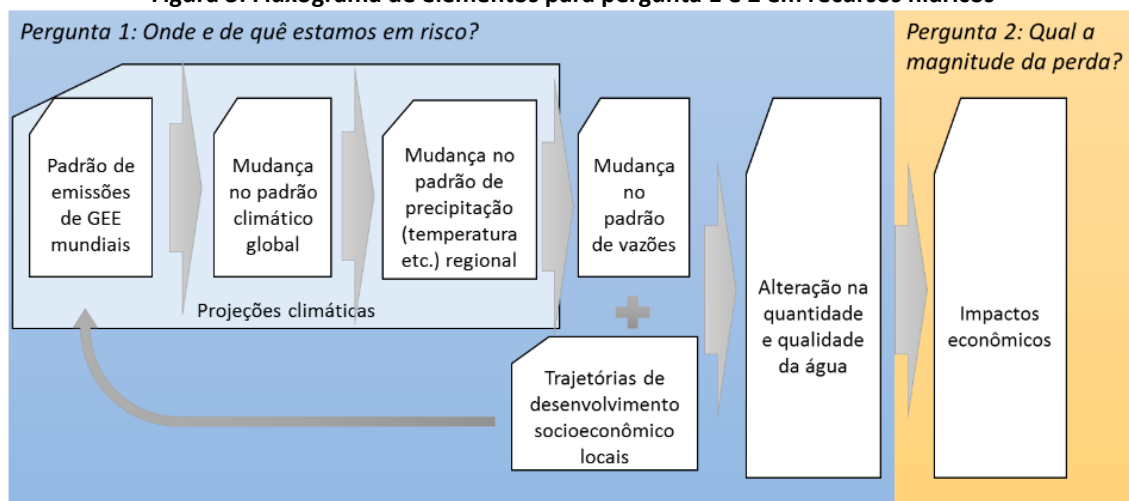
5 ANÁLISE DE CUSTO BENEFÍCIO EM RECURSOS HÍDRICOS

5.1 ELEMENTOS PARA A PERGUNTA 1 E 2 EM RECURSOS HÍDRICOS

O setor de recursos hídricos está entre os mais afetados direta e indiretamente pelas mudanças climáticas globais. Muitos podem ser os tipos de impactos esperados no setor e, por consequência, a aplicação de uma análise de custo benefício de medidas de adaptação para o mesmo dependerá da definição de diversos aspectos e recortes dentro do tema em si.

No caso específico da disponibilidade de água em quantidade e qualidade para usos de abastecimento humanos, industriais e irrigação, é possível estabelecer uma cadeia de elementos desde a causa inicial, as emissões de GEE, até o risco climático total no setor em valor econômico.

Figura 3: Fluxograma de elementos para pergunta 1 e 2 em recursos hídricos



As alterações decorrentes das mudanças climáticas devem refletir diretamente sobre a disponibilidade hídrica de forma muito mais intensa que os gerados pelas variações consideradas normais do clima. As emissões de GEE históricas e projetadas alteram o padrão do clima global, que por sua vez afeta o mesmo padrão climático no nível regional (bacia hidrográfica, por exemplo), representado principalmente por alterações nos padrões de temperatura e de precipitação. A alteração no regime de chuvas regional e local (entre outros fatores climáticos) se traduz em novas médias de precipitação, novas frequências e magnitudes de eventos chuvosos e de estiagem, alterando por consequência os padrões observados das vazões naturais e dos corpos d'água.

Essas vazões naturais associadas às diferentes trajetórias de desenvolvimento socioeconômico assumidas historicamente e projetadas para o futuro na região, principalmente relativas às demandas por água e perfis de saneamento, alterarão a quantidade e qualidade de recursos hídricos disponíveis para o abastecimento humano, industrial e irrigação (além de contribuir em certa medida com o padrão de emissões). Por fim, essas alterações esperadas na disponibilidade de água assim como na sua qualidade acarretam impactos econômicos associados, por exemplo, paralização da produção industrial, aumento de custos do setor de saúde associados a aumento de doenças, perdas de safra, perda de ativos por inundação etc.

A primeira pergunta da metodologia ECA: “Onde e de quê estamos em risco” é respondida pelos blocos iniciais até a identificação dos impactos físicos (alterações na quantidade e qualidade da água). A soma de fatores associados a trajetórias socioeconômicas com aqueles associados a um novo padrão de vazões (por sua vez, advindas das mudanças climáticas) compõem o risco climático total. Já a segunda pergunta: “Qual a magnitude da perda” será respondida através da tradução destes impactos físicos em impactos econômicos.

5.2 TIPOS DE MODELOS, FERRAMENTAS E CENÁRIOS NECESSÁRIOS

A fim de compreender cada relação de causa e efeito entre esses elementos que se encadeiam (projeções climáticas, mudança nos padrões de vazão, trajetórias de desenvolvimento, alteração na qualidade e quantidade de água e por fim seus impactos econômicos) usa-se modelos e ferramentas que relacionam seus fatores e variáveis, além da consideração e construção de cenários plausíveis. Esses modelos e ferramentas podem ser mais ou menos robustos mais ou menos realistas ou consagrados, usar dados reais ou projeções, dependendo de sua disponibilidade, montagem do problema e necessidade.

Retomando a cadeia de elementos apresentada acima, é possível elencar alguns aspectos gerais dos modelos, ferramentas e cenários aplicáveis a eles e suas inter-relações.

Padrão de emissões de GEE mundiais e mudança no padrão climático global

A principal fonte para estes elementos da cadeia tem sido os trabalhos do IPCC⁸, mais precisamente do seu Working Group I⁹. Resumidamente, o IPCC traz no quinto relatório de avaliação (AR5¹⁰), além de evidências da ocorrência das mudanças climáticas e seus fatores, cenários futuros para o clima global. Para tal, faz uso de modelos climáticos globais (*Global Climatic Models* - GCM) compostos por uma complexa hierarquia de modelos que compreendem modelos climáticos simples, de complexidade intermediária e detalhados, além de modelos do sistema terrestre. Estes simulam as mudanças a partir de cenários de forçantes antrópicas. Uma nova gama de 4 cenários chamados *Representative Concentration Pathways* (RCPs), foi adotada no AR5 e expressam cenários prováveis das atividades humanas.

Mudança no padrão climático regional

Enquanto os modelos climáticos globais (GCM) proporcionam cenários abrangentes, faz-se necessário a redução da escala espacial e temporal dos seus resultados, através de técnicas de *downscaling*, a fim de possibilitar a interpretação dos mesmos em termos mais regionais e locais. Existem duas formas principais de técnica de *downscaling*. Uma forma é *downscaling* dinâmico, onde a saída do GCM é usada para acionar um modelo regional em maior resolução espacial, o que, portanto, é capaz de simular as condições locais em maior detalhe. A outra forma é *downscaling* estatístico, onde uma relação estatística é estabelecida a partir de observações entre as variáveis de grande escala, como a pressão atmosférica da superfície, e uma variável local, como a velocidade do vento em um local particular. É importante salientar que as variáveis climáticas que tais modelos podem abordar são diversas, no entanto, se

⁸ Intergovernmental Panel on Climate Change. Sigla em inglês do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas estabelecido em 1988 pela Organização Meteorológica Mundial e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para fornecer informações científicas, técnicas e socioeconômicas relevantes para o entendimento das mudanças climáticas, seus impactos potenciais e opções de adaptação e mitigação.

⁹ Grupo de Trabalho I: avalia os aspectos científicos do sistema climático e de mudança do clima.

¹⁰ Fifth Assessment Report: Quinto Relatório de Avaliação do IPCC lançado em 2014.

destacam a precipitação e temperatura, a primeira especialmente importante para recursos hídricos.

Mudança no padrão de vazões

Para recursos hídricos, e em especial a disponibilidade de água em quantidade e qualidade para diversos usos, torna-se necessário o entendimento das projeções de alterações na precipitação (e outras variáveis climáticas) provenientes dos modelos e cenários climáticos em termos de vazões. Essa relação é provida pelos modelos de chuva-vazão. Simplificadamente, tais modelos têm por objetivo estimar a vazão em um sistema de drenagem qualquer, gerado por um evento de chuva buscando reproduzir as fases do ciclo hidrológico entre a precipitação e escoamento no ponto de interesse. Existe uma variedade de tipos de modelos, desde bastante simplificados, utilizados em projetos de engenharia em pequenas bacias, até modelos mais completos que consideram a variabilidade espacial e temporal do evento chuvoso tentando representar variações das características da bacia no espaço e considerando balanço hídrico mais completo (evapotranspiração, infiltração, escoamento etc.), acarretando igualmente maior dependência de dados. Modelos customizados, por exemplo, através de relações estatísticas de dados simulados e observados, também são uma alternativa possível.

Trajetórias de desenvolvimento socioeconômico locais

A quantidade e qualidade dos recursos hídricos no futuro não dependerá somente da alteração dos padrões de precipitação para o período, mas igualmente da conjuntura socioeconômica local onde esse recurso estiver inserido, refletindo seus usos e impactos. Devido à variedade e amplitude que estas trajetórias representam, nesta etapa é preciso identificar quais são suas variáveis de interesse para a construção de cenários, como por exemplo, informações previstas em planos de desenvolvimento regionais ou tendências históricas de distribuição do uso do solo, população, demandas industriais e tratamento de efluentes. Atenção especial deve ser dada a variáveis que afetam e são afetadas em recursos hídricos.

Alteração na quantidade e qualidade da água

A combinação dos resultados de modelos de chuva-vazão com cenários de demanda de água (em qualidade e quantidade) advindas das trajetórias socioeconômicas previstas pode ser avaliada através de modelos de alocação de água e de qualidade que simulam a realidade ao computarem novas disponibilidades hídricas com novos padrões de usos. As alterações na quantidade e qualidade da água são reflexo direto dos cenários de trajetórias de desenvolvimento e das mudanças do clima que, como explanado acima, alteram a relação precipitação-vazão. Como em um sistema dinâmico, as projeções físicas interagem com as socioeconômicas. Nestas últimas, parâmetros de uso consuntivo por habitante e grau de eficiência de tratamento de esgoto, por exemplo, podem ser alterados de sorte a permitir a comparabilidade entre ações de enfrentamento à mudança do clima. Esses modelos simulam os impactos físicos esperados na bacia, combinando as projeções socioeconômicas com os novos cenários de clima.

Impactos econômicos

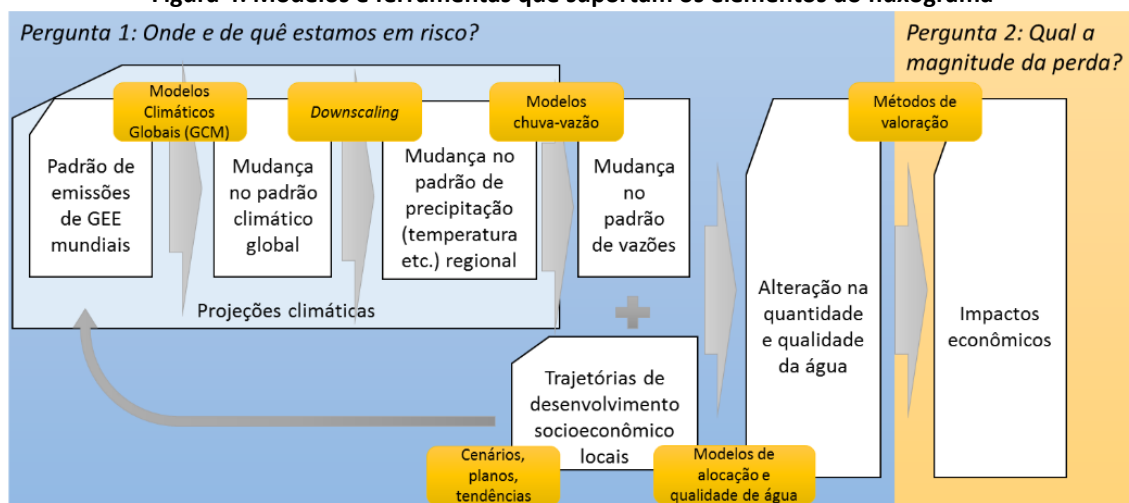
A partir dos resultados físicos projetados para as alterações na quantidade e qualidade da água, calculam-se os correlatos impactos econômicos. Técnicas de valoração econômica dos recursos naturais permitem inferir, a partir das mudanças físicas, impactos econômicos. Diversas técnicas de valoração econômica conseguem quantificar o valor dos recursos naturais, sejam estes de uso direto ou indireto. As técnicas dividem-se basicamente em duas categorias:

- i) As que utilizam os próprios instrumentos de mercado, tais como os preços de mercado, custo de reposição, custo evitado e função de produção;

- ii) Aquelas cujo elo de ligação é comportamental, isso é, que desvendam os valores por meio de preferências reveladas ou explicitadas, tais como preços hedônicos, custos de viagem, valoração contingente e experimentos de escolha (KAHN, 2005) (CONSTANZA, et al., 1998).

Cada técnica de valoração apresenta vantagens e desvantagens, sendo usualmente a própria disponibilidade de dados e seu grau de confiabilidade que determinam a utilização de uma ou outra. Há também a escolha entre adotar a valoração exaustiva dos diversos serviços ambientais com um baixo grau de aprofundamento ou a valoração aprofundada de somente aquele(s) mais pertinente(s) no contexto do estudo. Isso se dá pelas dificuldades intrínsecas de se relacionarem efeitos ambientais físicos com os sociais, bem com a disponibilidade de dados e revelações de preferência confiáveis. Frente a esse impasse, VAN BEUKERING, ZWARTS, *et al.* (2005) recomendam a utilização da melhor técnica possível da forma mais aprofundada possível ante a utilização superficial de diversas técnicas com graus difusos de aprofundamento¹¹.

Figura 4: Modelos e ferramentas que suportam os elementos do fluxograma



Aplicação: modelos e ferramentas utilizados no presente estudo

Na aplicação proposta no presente estudo (na bacia do PCJ) foi necessário passar por todos os elementos expostos e utilizar igualmente ferramentas, modelos e cenários para tal. Apesar do resultado quantitativo do estudo, sua aplicação não objetiva ser base para tomada de decisões, mas sim uma aplicação didática para analisar criticamente a metodologia. Procurando atender a este objetivo, buscou-se utilizar ferramentas e modelos disponíveis para a região, assim como aquelas cuja aplicação fosse compatível com o prazo disponível, ponderando sempre entre a acurácia dos mesmos e sua necessidade para a aplicação.

Para as projeções climáticas globais foram utilizados resultados do modelo climático global (GCM) HadGEM2-ES/INPE, fruto da parceria entre o INPE e o UK Meet Office. Estes resultados em escala nacional (aproximadamente 300 km) que servem de entrada para o modelo ETA-CPTec (ver seção 6.2.4) gerando cenários com escala local, de até 20 km. Os dados de precipitação futura gerados por esse último para a Bacia PCJ foram à base para a modelagem estatística para calcular a mudança no padrão de vazão da Bacia. Para análise de quantidade e

¹¹ A monetarização de diversos serviços ambientais sem o devido grau de aprofundamento invariavelmente traz grandes - e por vezes politicamente inaceitáveis - margens de erro que podem, eventualmente, invalidar exercícios de valoração e suas consequentes decisões práticas.

qualidade de corpos d'água da Bacia PCJ foi utilizado um Sistema de Suporte a Decisão já existente para a bacia (SSD PCJq) que é um modelo matemático integrado a uma base de dados capaz de simular e avaliar cenários de utilização de recursos hídricos para os municípios da Bacia (mais detalhes seção 6.2.6). Já os cenários socioeconômicos locais são elaborados seguindo premissas já existentes, como crescimento populacional e PIB (ver seção 6.2.3). O detalhamento da utilização dessas ferramentas, modelos e cenários na aplicação se encontram nos capítulos subsequentes assim como nos anexos.

5.3 COMO RESPONDER - MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

Uma vez conhecidos os impactos e seus determinantes, a terceira pergunta da metodologia: *“Como podemos responder”* busca elencar medidas de adaptação concretas que respondam aos riscos levantados na etapa anterior.

As medidas de adaptação às mudanças climáticas em recursos hídricos visam gerar resiliência reduzindo os riscos dos impactos (em ocorrência e magnitude) podendo intervir nos diversos fatores dessa cadeia apresentada. Uma vez que os fatores determinantes das mudanças do clima global e regional, ou seja, as emissões de GEE, são tratados pela mitigação, cabe à adaptação partir dos cenários de impactos climáticos previstos para a área de estudo.

Simplificadamente, a adaptação buscará medidas que intervenham nos fatores restantes da cadeia. Aquelas que afetam o padrão de vazão previsto a partir do novo clima (precipitação, temperatura etc.), como medidas de reservação e mudança no uso de solo, e aquelas que modifiquem elementos das trajetórias de desenvolvimento esperadas, em especial na demanda e uso da água; construções, que por sua vez modificam a quantidade e qualidade de água necessária e disponível no futuro. Qualquer medida, modificando positivamente tais fatores reduzirá os riscos e seus custos associados.

Figura 5: Elementos onde a pergunta 3 incide



Processo de definição de medidas

Existem diversas maneiras de selecionar medidas de adaptação às mudanças climáticas dependendo da localização, risco e magnitude da perda. Um processo ideal para levantamento de medidas visando a tomada de decisão conta principalmente com a participação de atores relevantes no processo. Neste estudo, em se tratando de uma aplicação didática, alguns elementos de um processo ideal de definição de medidas adaptativas não foram contemplados.

Alguns elementos básicos são listados para um processo ideal de levantamento de medidas de adaptação (CLIMATEWORKS FOUNDATION, 2009):

- A participação de especialistas, órgãos do governo, ONGs, possíveis setores afetados pelos efeitos das MC no levantamento de medidas é de extrema importância para que as mesmas realmente atinjam os riscos prováveis, atendendo as necessidades dos envolvidos e interessados, garantindo igualmente um engajamento na sua implementação.
- As medidas levantadas devem ser acessíveis e passíveis de reaplicação e, portanto futuras inovações tecnológicas não seriam priorizadas nesse contexto.
- Categorizar as medidas adaptativas segundo suas características facilita o processo, uma vez que o escopo de aplicação de cada uma pode ser melhor definido. Alguns exemplos de categorias são: infraestrutura, incentivos econômicos, tecnologia, processos, sistemas, comportamento, respostas financeiras. Apresentar as categorias pode evitar a polarização em um só tipo delas, como por exemplo, infraestruturais.
- Considerar o potencial máximo de atuação da medida no escopo determinado, visando maximizar os benefícios.
- Os custos de implementação e operação das medidas devem ser elencados e analisados com base na sua vida útil, que não pode ser menor do que o período futuro de risco considerado.

6 APLICAÇÃO - PERGUNTA 1: ONDE E DE QUÊ ESTAMOS EM RISCO

Este capítulo primeiramente traz uma breve descrição da área de estudo, a Bacia do PCJ, apresentando sua área de abrangência, histórico de ocupação, uso do solo, assim como estrutura de governança dos recursos hídricos da bacia.

Uma vez caracterizado o local do estudo, são definidos os riscos relacionados às mudanças climáticas que serão foco do presente estudo, nesse caso são os relativos à escassez hídrica. Porém, é mostrado na sequência que para a elaboração completa da ACB deve ser definido o risco climático total, ou seja, o risco provável dentro de um cenário definido de projeção climática e socioeconômica.

Sendo assim, as seções seguintes apresentam as projeções climáticas e socioeconômicas desenvolvidas e o período de análise definido. As perdas prováveis no cenário climático apresentado dentro da projeção socioeconômica definida são apresentadas como resultados na última seção deste capítulo.

6.1 ONDE: ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo para a aplicação deste piloto é a Bacia do PCJ. Como já descrito anteriormente, a mesma foi escolhida para o estudo por apresentar grande quantidade de informações e dados disponíveis.

A Bacia do PCJ está localizada na região sudeste, nos estados de São Paulo e Minas Gerais. Sua área total é de 15.303,67 km² (pouco menor que o estado de Sergipe), desse montante 92,6% estão localizados no estado de São Paulo e 7,4% no estado de Minas Gerais (COBRAPE, 2014). A Figura 6 mostra a localização da bacia, suas sub-bacias e os municípios que a compõem.



Fonte: (CONSÓRCIO PCJ, 2012)

No estado de São Paulo, todas as Bacias do PCJ são afluentes do rio Tietê, e estendem-se por 14.137,79 km², dos quais 11.402,84 km² correspondem à Bacia do rio Piracicaba, 1.620,92 km² à Bacia do rio Capivari e 1.114,03 km² à Bacia do rio Jundiá. No estado de Minas Gerais, a área pertencente às Bacias PCJ corresponde principalmente a uma parcela da Bacia do rio Jaguari, tendo um total de 1.125,90 km².

A Bacia do PCJ é dividida em sete sub-bacias principais, sendo que cinco pertencem ao Piracicaba (Piracicaba, Corumbataí, Jaguari, Camanducaia e Atibaia), além do Capivari e Jundiá.

O clima na região da bacia é predominantemente chuvoso, quente e temperado. O índice médio de pluviosidade varia entre 1.200 e 1.800 mm anuais, com período de chuva entre outubro e abril e estiagem entre maio e setembro (IRRIGART, 2007). Inserida no bioma Mata Atlântica, a região da bacia apresenta 37% do seu território no estado de São Paulo definido como área protegida, apesar da forte atividade agrícola ali desenvolvida (STS ENGENHARIA, 2007).

História de ocupação da região da Bacia do PCJ e demografia

O trecho paulista da Bacia do PCJ teve seu desenvolvimento impulsionado primeiramente pela agricultura, com o ciclo da cana, no início do século XVIII, e depois com o ciclo do café no século XIX. Esse último levou ao desenvolvimento da diversificação viária e a subsídios para a implementação do setor industrial. Com o desenvolvimento do complexo viário na região, ocorreu o desenvolvimento da agroindústria impulsionada pelo programa Proálcool. Mais recentemente, a região do PCJ começa a receber mais indústrias graças ao processo descentralização industrial na Região Metropolitana de São Paulo (COBRAPE, 2014).

Minas Gerais teve como fator de fomento para sua ocupação o movimento das Entradas e Bandeiras que ocorriam nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro no século XVI. Posteriormente, graças a descoberta do ouro e o fluxo de mercadorias e pessoas entre Rio de Janeiro e interior de Minas Gerais, essa região teve seu desenvolvimento impulsionado. Após a queda da mineração ocorre um aumento da atividade pecuária e instalação de indústrias de laticínio principalmente no sul de Minas Gerais. Por fim, o desenvolvimento do comércio entre São Paulo e Sul de Minas levou a implementação de rodovias na região, conduzindo o aparecimento de núcleos urbanos no trecho mineiro da Bacia do PCJ.

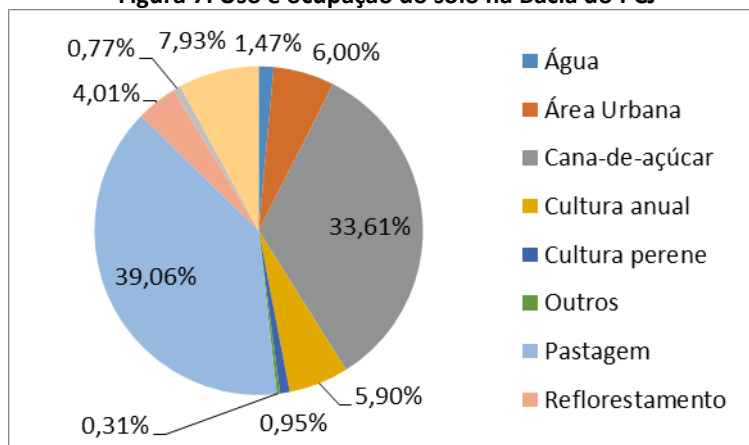
A partir de 1992 é possível observar um crescimento no número de estabelecimentos principalmente relacionados a serviços e comércio, além de um crescimento menos representativo no setor industrial principalmente no trecho paulista da Bacia. O bom desempenho desses setores da economia na região do PCJ é mostrado pela contribuição do PIB da região no estado de São Paulo, que em 2002 chegou a mais de 18%, estabilizada a pelo menos 14% desde 1994 (COBRAPE, 2014).

A população total dos municípios dos comitês das Bacias do PCJ em 2010 era de 5,8 milhões de pessoas, sendo 98,79% habitantes do território paulista e 1,21% do território mineiro. Observa-se uma redução do ritmo da taxa de crescimento da população da Bacia PCJ, que entre 1991 e 2000 cresceu anualmente a taxa de 2,12% a.a. e entre 2000 e 2010 a 1,90% a.a. Porém, é válido ressaltar que mesmo com essa queda geral, a bacia apresenta um ritmo de crescimento populacional acima daquele verificado para o Estado de São Paulo, que foi de 1,78% entre 1991 e 2000 e de 1,09% entre 2000 e 2010. A diferença do PCJ é em grande parte reflexo do crescimento de Campinas e sua Região Metropolitana, que teve uma redução menos significativa no crescimento do que a Região Metropolitana de São Paulo (IBGE, 2010).

Uso do Solo

Através da Figura 7, é possível verificar que o uso do solo na região da Bacia é representado predominantemente por pastagens (39,06%) e cana-de-açúcar (33,61%). A silvicultura (4,01%) também é uma atividade representativa na região, devido à proximidade das indústrias de papel e celulose em algumas sub-bacias, como a do rio Jundiá. É uma região caracterizada pela forte degradação da mata nativa, sendo que a vegetação original encontra-se predominantemente, nas margens dos cursos d'água e em Áreas de Proteção Permanentes (APPs) e, representa 7,93% da área da Bacia PCJ.

Figura 7: Uso e ocupação do solo na Bacia do PCJ



Fonte: (COBRAPE, 2011)

Governança dos recursos hídricos da Bacia PCJ

Uma vez que a Bacia do PCJ apresenta grande importância para a região, diversos órgãos públicos e independentes de gestão e tomada de decisão em relação aos recursos hídricos e financeiros da Bacia foram formados na região. Veja exemplos no Quadro 2.

Dada a relevância socioeconômica da Bacia e o previsto na legislação, esses órgãos são responsáveis por realizar estudos para fomentar a tomada de decisão dos mesmos e de outros entes públicos, assim como o planejamento do uso de recursos, descrito no Plano de Bacias, recorrentemente produzido pela Agência PCJ. Uma vez que a maioria desses órgãos tiveram o início do seu funcionamento na década de 1990, tem-se um histórico de informações disponíveis em relação a Bacia produzido pelos mesmos. O principal documento em relação a Bacia é o Plano de Bacias que tem por objetivo trazer um diagnóstico da mesma e, principalmente, apresentar propostas de gerenciamento pautadas em projeções futuras da situação da Bacia.

Quadro 2: Exemplos de órgãos presentes na governança em RH na Bacia do PCJ

Comitê das Bacias do PCJ: criado em 1991 por meio da Lei 7.663 de 30 de dezembro de 1991. Sendo um órgão colegiado, consultivo e deliberativo, tem como objetivo o gerenciamento dos recursos hídricos de forma descentralizada, participativa e integrada sem dissociação dos aspectos quantitativos e qualitativos da bacia. Ao comitê compete aprovar o Plano de Bacias, os orçamentos relacionados a obras, definir os critérios para cobrança do uso da água, assim como promover estudos, divulgação e debates em relação aos programas prioritários de serviços e obras a serem realizadas.

Agência PCJ: criada em 1993 para colaborar com as atividades do Comitê de Bacias, é responsável por gerenciar os recursos financeiros da Bacia arrecadados pela cobrança do uso da água, elaborar o Plano de

Bacias e o Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica (Fonte: <http://www.agenciapcj.org.br>)

Consórcio Intermunicipal de Bacias do PCJ: tem por objetivo recuperar os mananciais que compõem essas bacias. Formado por municípios e empresas, o órgão criado em 1989 atua com independência financeira e técnica via diversos programas ambientais e de sensibilização em relação a situação dos recursos hídricos nos diversos setores dependentes dos recursos hídricos da Bacia. (Fonte: <http://www.agua.org.br/conteudos/11/consorcio-pcj.aspx>)

Agência Reguladora de Serviços de Saneamento - ARESPCJ: uma vez que as atividades de saneamento básico são de responsabilidade municipal, a ARES PCJ, é uma agência regional criada em 2011 pelos municípios pertencentes à Bacia do PCJ para regular e fiscalizar os serviços de saneamento básico nesses municípios. O objetivo de ser uma agência regional é diminuir os custos operacionais que inviabilizariam uma agência desse tipo em cada município, e viabilizar a implementação de uma agência com independência decisória e autonomia administrativa, orçamentária e financeira. (Fonte: <http://www.arespcj.com.br/>)

6.2 DE QUÊ: RISCO DE INTERESSE

Uma vez definida a área, essa seção descreve a sequência de passos tomados para definir o risco que será analisado posteriormente em magnitude de perda econômica.

Perigos: extremos de inundação e estiagens

As mudanças climáticas desenrolam perigos locais graduais, que no caso de recursos hídricos podem ser traduzidos em aumento de eventos extremos, seja de mais chuva, causando inundações; ou menos chuva, causando defasagem no abastecimento de água para a população e para diferentes setores da economia. Ambos os perigos, associados a cenários de vulnerabilidade, como por exemplo, o aumento de demanda hídrica, trazem riscos que podem ser traduzidos em perdas econômicas.

Disponibilidade hídrica e demanda futura

Estudos na região da Bacia do PCJ, em especial o Plano de Bacias, mostram cenários futuros relacionados às projeções de demanda na bacia. No diagnóstico feito em relação a quantidade e qualidade das águas na bacia, foram identificadas 6 áreas de contribuição em estado crítico no que concerne a quantidade em 2014. Em 2020, esse número sobe para 8 (COBRAPE, 2014). O estudo mostra que a área de contribuição que contempla os municípios de Salto, Itu e Indaiatuba apresenta um déficit hídrico de 0,341 m³/s para o cenário de 2014, e de 0,430 m³/s em 2020, por exemplo. É válido ressaltar que esse cenário foi projetado sem considerar investimentos para solucionar os problemas relativos à falta de água e mantendo a população da Bacia com o mesmo número de 2008.

Segundo informações do banco de indicadores do Relatório de Situação 2012 publicadas no Relatório de Gestão e Situação das Bacias PCJ a disponibilidade superficial per capita era de 1.102 m³/hab.ano em 2007 e caiu progressivamente para 1.051 m³/hab.ano em 2011 por conta do aumento da população na Bacia (Comitês PCJ; Agência das Bacias PCJ, 2012). O mesmo ocorreu com a disponibilidade de água subterrânea per capita da Bacia, que passou de 141 m³/hab.ano em 2007 para 134 m³/hab.ano em 2011, mostrando a importância de inserir o fator “população” nas análises de disponibilidade hídrica (Comitês PCJ; Agência das Bacias PCJ, 2012).

Clima futuro e vazões

Adicionalmente, no que concerne a disponibilidade hídrica futura, os poucos estudos climáticos para a região apontam maior magnitude e frequência de eventos extremos, sejam causadores de inundações ou estiagens. Por exemplo, o relatório técnico “Estimativa da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima (2015-2100)” (FBDS; CPETEC/INPE, 2010) contém projeções de precipitação e vazão, para todas as regiões hidrográficas do Brasil, mostra prováveis cenários de escassez hídrica na região em que está inserida a Bacia PCJ. As projeções para a Região Hidrográfica do Paraná têm os dados de vazão e precipitação disponibilizados para três períodos: 2011-2040; 2041-2070 e 2071-2100, para os cenários futuros A2-BR e B2-BR.

A partir dos resultados apresentados no documento é possível identificar uma diminuição de vazão para o cenário B2-BR de emissões em cerca de 15% no período de 2041-2070. O cenário A2-BR apresenta uma redução na vazão de aproximadamente 13% para o período citado anteriormente, porém, ao contrário do indicado no cenário B2-BR, o período de 2071-2100 para o cenário A2-BR indica aumento de cerca de 10% na área da bacia do Paraná (FBDS; CPETEC/INPE, 2010).

Qualidade da água

Não havendo investimento em saneamento na bacia os cenários de qualidade da água se mantêm ruins ou se agravam. Por exemplo, o relatório da COBRAPE (2014), referente ao programa de enquadramento dos corpos d'água da bacia PCJ, aponta um agravamento na qualidade de água em 2014 (que se mantém estável até 2020), em relação a 2008. A escassez hídrica também influi mesmo que indiretamente na qualidade da água. De forma geral na bacia, durante o período de seca, normalmente já existe um aumento dos níveis de indicadores de poluição da água¹². Isso se dá devido a menor vazão do rio que recebe constantemente a carga poluidora das cidades e indústrias da região, aumentando a concentração desses poluentes nos meses de junho a novembro (ZAGATTO & ZAGATTO, 2014).

Aplicação: escassez e impactos na quantidade e qualidade

Uma vez que o presente estudo trata de uma aplicação metodológica e didática em um prazo limitado, optou-se por analisar prioritariamente o perigo de escassez hídrica e os riscos a ela atrelados. Sendo a qualidade da água influenciada pela escassez hídrica, esse risco também será analisado, ainda que de maneira secundária no estudo.

É sabido, no entanto que, uma visão completa dentro do gerenciamento de recursos hídricos dos riscos que as mudanças climáticas podem trazer, deve considerar igualmente o risco de inundação na região estudada. Sua consideração é particularmente importante, uma vez que os cenários apontam aumento de eventos extremos, o que implica, além de escassez, maiores e mais frequentes inundações. No entanto, também considerar este perigo nesta aplicação demandaria dados e estudos adicionais distintos dos utilizados competindo com o objetivo didático central do mesmo.

Usos da água considerados

É válido ressaltar também que, a análise dos riscos está atrelada aos seguintes usos da água: abastecimento urbano, uso industrial e de irrigação, sendo os riscos analisados em função da alteração que causariam para cada um desses usos. Essa classificação foi adotada porque, além

¹² Por exemplo: DBO, N-amoniaco, N-Kjeldhal, nitrato, nitrito, cloreto, substâncias tensoativas, fósforo total, condutividade e diminuição do oxigênio dissolvido, manganês e da turbidez.

de facilitar a classificação dos custos associados aos setores e ser uma classificação comum em recursos hídricos, também é a utilizada pela Agência de Bacias PCJ.

Nesse contexto de aumento de demanda por água e déficit hídrico, o risco da falta de abastecimento se traduz em perdas e custos para a sociedade uma vez que, entre outros, a produção da indústria e agricultura estaria comprometida e a saúde e bem estar da população também.

6.2.1 Risco climático total

A ECA avalia o risco climático total, caracterizado pelos riscos advindos das mudanças climáticas, somados aos riscos que já existiriam somente com as trajetórias socioeconômicas normalmente previstas. Para tal avaliação são necessários cenários futuros do clima (aquele ao qual teremos que nos adaptar) e cenários futuros socioeconômicos da região definida.

Uma vez que este estudo tem os recursos hídricos como campo de análise, os elementos necessários para a avaliação do risco climático total contemplam portanto:

- a) Projeções socioeconômicas para os usos daquele recurso hídrico, ou seja, aumento da população, aumento dos usos e demandas de diferentes setores da economia etc.
- b) O risco das mudanças climáticas na alteração dos padrões de precipitação e vazão (ciclo hidrológico) natural em um futuro definido, ou seja, projeções de chuva e vazão.

Sendo assim, as próximas seções irão trazer a descrição do processo de definição das projeções de chuva e vazão, assim como da projeção socioeconômica para a região do PCJ através da utilização dos modelos e ferramentas adotados para tal.

6.2.2 Definição do horizonte temporal

Até que ano?

Entre as principais definições para uma ACB está a dos horizontes temporais que serão adotados na análise. Essa definição se torna ainda mais importante quando no contexto das mudanças climáticas, já que seus efeitos serão mais significativos quanto mais longe no futuro¹³. Cabe à análise adotar um horizonte suficientemente longo para que os efeitos das MC nos cenários sejam perceptíveis e também suficientemente próximo para que tenha significado para tomadas de decisão. Sua escolha também pode estar condicionada à existência de dados para diferentes horizontes.

Na presente aplicação foi adotado o horizonte de 2050, correspondendo, assim a 35 anos a partir de 2015. As aplicações da ECA anteriores utilizaram horizontes de 30 anos. Essa escolha condicionará todos os cenários e pressupostos seguintes para composição do risco climático total, notadamente as trajetórias de desenvolvimento e os cenários de clima futuro. Para a composição das projeções climáticas será escolhido um período (por exemplo, uma década) representativo do clima no ano de 2050 (seção 6.2.5)

Qual unidade temporal de análise?

¹³ Os cenários de MC apontam que, mesmo nas trajetórias de emissão mais otimistas (RCP) seus efeitos ainda se manifestarão mais severamente no futuro, fruto da combinação de diversos fatores.

A unidade de análise básica é o período de um ano, sendo compatível com o ciclo de planejamento e meteorológico, além de ser uma unidade de fácil percepção dos *stakeholders*. No entanto períodos diferentes podem ser adotados de acordo com o foco do estudo. Alguns estudos podem avaliar os riscos e custos associados em unidades temporais menores, mas compor ao final o resultado no ano, por exemplo.

Na aplicação, os resultados são anuais e aplicados ao ano de 2050. No entanto, todos os cálculos de riscos físicos são feitos numa base mensal, capturando, assim as variações sazonais típicas em recursos hídricos. O modelo de alocação de quantidade e qualidade da água utilizado (SSD-PCJq) trabalha nessa base.

Riscos até o ano futuro ou no ano futuro?

Idealmente, a contabilização dos riscos climáticos totais deve ser composta pela soma dos riscos ano a ano até o horizonte final, representando assim uma projeção completa de seu aumento devido o acúmulo entre os riscos do desenvolvimento em si e aqueles do avanço das MC, ano a ano. Na metodologia ECA, para facilitar a comunicação e percepção do tomador de decisão, a apresentação das perdas associadas ao risco climático total (pergunta 2) é feita para o ano final adotado, apresentado assim o valor anual perdido naquela data futura. No caso deste estudo, será a perda anual esperada em 2050.

Já para o cálculo dos custos de implementação das medidas adaptativas e os benefícios que elas aportam (perdas evitadas), é possível somá-los ano a ano conforme sua distribuição até o horizonte final de acordo com seus cronogramas específicos. Isso exige, como apontado anteriormente, a modelagem dos riscos e perdas econômicas associadas a cada ano de acordo com as trajetórias de desenvolvimento (PIB esperado e população) e as projeções climáticas. Essa distribuição no tempo faz emergir a discussão sobre a taxa de desconto que deve ser utilizada para se descontarem os valores futuros a fim de compará-los hoje, embasando assim uma tomada de decisões no tempo zero. Para uma discussão sobre a taxa de desconto e sobre a escolha daquela aplicada ao estudo, ver item 8.3.

Devido à dificuldade de se modelar esses riscos ano a ano até 2050, esta aplicação optou por analisar os riscos climáticos totais, suas perdas associadas e os benefícios de cada medida adaptativa adotada somente no ano de 2050. Mesmo com a simplificação, a avaliação do custo-benefício das medidas (pergunta 3) cumpre seu objetivo de promover a comparação e priorização das medidas a serem adotadas, uma vez que se obtém a visão do cenário futuro no ano referenciado em toda a complexidade das relações entre clima, sociedade e economia.

6.2.3 Trajetórias de desenvolvimento socioeconômico locais - Projeções socioeconômicas

Uma vez definido o risco de interesse, o próximo passo é montar os cenários socioeconômicos relevantes ao estudo para o ano futuro escolhido, no caso o ano de 2050. Esses cenários que determinarão os riscos associados ao desenvolvimento econômico em relação ao presente e sobre os quais ainda acrescentar-se-ão as MC.

Existem diversas formas de se construir esses cenários, podendo ser mais ou menos refinadas. O futuro, entretanto, é uma prática de construção social onde apenas o aguardo pelo seu desenrolar garante sua acurácia - infelizmente tornando-o um presente onde a janela para tomada de decisões permanecerá para sempre presa no passado. Cabe também ressaltar que

os objetivos da ACB diferem daqueles de um plano de saneamento, por exemplo, onde se faz necessário mensurar o diâmetro das tubulações que atenderão o bairro "X". Magnitudes, mais do que precisões, indicam os caminhos a seguir.

Devido à variedade e amplitude que estas trajetórias representam, nesta etapa é preciso identificar quais são as variáveis de interesse para a construção de cenários que tenham relação com os parâmetros físicos e econômicos de interesse, em especial as que afetam recursos hídricos.

Quadro 3: Simplificações e aumento de transparência

Os casos de teste da ECA optaram por simplificar as suposições sobre o crescimento econômico e populacional para aumentar a transparência do modelo, ao invés de utilizar conceitos de métodos de equilíbrio geral. Modelos de equilíbrio geral incorporam os impactos dos investimentos econômicos - incluindo as medidas de adaptação - no PIB futuro e crescimento da população. Esses modelos tentam estimar o ciclo de *feedback* de forma dinâmica em um sistema. No entanto, embora reconheça que as medidas de adaptação avaliadas são susceptíveis de servir de base para o crescimento futuro, optou-se por fazer o crescimento econômico e populacional independente das opções de adaptação e dos cenários de mudanças do clima. Criticamente, entre as vantagens de se utilizar hipóteses simplificadoras como estas é que modelos mais práticos e compreensíveis são mais propensos a ganhar aceitação entre os não-especialistas e trazem transparência, inclusive de suas limitações.

Principais fontes e premissas

Nesse sentido, buscou-se projetar os dados utilizados pelo modelo de alocação de água e qualidade (nesse caso o SSD-PCJq, ver seção 5.2) e aqueles utilizados pela valoração econômica posterior (Pergunta 2 do método). Os mesmos podem ser resumidos a dados que traduzem as demandas de água de abastecimento (população, consumo per capita etc.), que determinam as cargas de efluentes (taxa de coleta e tratamento de esgoto), seus correlatos para usos industriais e de irrigação, e por fim parâmetros econômicos como o VAB (Valor Adicionado Bruto) industrial e agrícola projetado na região.

Para a presente aplicação, as principais fontes de dados e informação para a construção das projeções foram o Programa para efetivação de enquadramento da Bacia PCJ (COBRAPE, 2014), dados do IBGE referentes à população e à contabilidade regional, dados da Agência PCJ (2014) quanto às outorgas de água e dados do SNIS - Sistema Nacional de Informações de Saneamento do Ministério das Cidades.

O Programa para enquadramento da Bacia PCJ apresenta dados detalhados por município relativos ao consumo de água doméstica per capita, à parcela de captação superficial de água, aos índices de perdas na distribuição de água, aos índices de coleta e tratamento de esgotos, às concentrações dos efluentes gerados, às demandas industriais e suas cargas, bem como às demandas rurais (COBRAPE, 2014). Embora não tenham sido adotadas as projeções populacionais do documento citado para 2035, essas serviram como base para aquelas produzidas para a aplicação.

Como será detalhado abaixo, as projeções são extrapolações ajustadas de tendências atuais. Não contemplam-se, assim, eventos de ruptura uma vez que estes são desconhecidos, por definição, em sua natureza e magnitude. Para os objetivos da ACB de articular a compreender os desenvolvimentos futuros como forma de se preparar para sua chegada hoje, tem-se, portanto os diagnósticos de possíveis cenários futuros para a escolha informada de medidas no presente.

Projeções populacionais

As projeções populacionais para 2050 foram feitas para o Brasil, para os Estados de São Paulo e Minas Gerais, para as sete mesorregiões componentes da UGRH5 (PCJ)¹⁴ e, por fim, para cada município presente na bacia. As bases para as projeções foram os censos de 1991, 2000 e 2010 (IBGE) e as estimativas populacionais do IBGE para 2013. Este passado torna possível a compreensão das taxas de crescimento a cada uma das duas décadas, além das variações relativas entre os diversos agregados territoriais acima elencados.

O comportamento futuro da população brasileira foi obtido junto à divisão de população da ONU e seu banco de dados populacionais, verificados e projetados¹⁵. São três as trajetórias de crescimento populacional elencadas, sendo que a de baixo crescimento projeta um Brasil de 2050 com 199 milhões de habitantes; a de médio crescimento 231 milhões e a de alto 267 milhões. Optou-se pela trajetória média da população brasileira para se aplicar à região do PCJ o método *mutatis-mutandi*¹⁶.

O uso dessa metodologia permite alocar aos componentes-objeto das projeções, no caso os municípios da bacia do PCJ, os efeitos das trajetórias dos agregados maiores. Nesse caso, significa dizer que cada município crescerá de acordo com seu histórico e de acordo com a influência recebida pela mesorregião, pelo estado e, claro, pelo país. Ou seja, a forma com a qual as projeções foram realizadas parte do agregado maior - a população brasileira - e do histórico de cada município para atribuir os ritmos de mudanças futuras de componente no todo. O nome do método advém do fato que todas as partes são mutáveis.

Além do conhecimento sobre a trajetória de crescimento populacional de cada um dos municípios, precisou-se inferir o grau de urbanismo, pois apenas esta parcela da população utiliza a captação superficial das águas do PCJ. Para tanto, a mesma mecânica de *mutatis-mutandi* foi realizada, ou seja, aplicação da tendência do município por sua própria trajetória passada, balizada pela trajetória de sua mesorregião, que por sua vez é balizada pelo seu estado e, por fim, pela trajetória do país.

Uma vez que se registra a tendência de continuidade de adensamento populacional nas grandes cidades, essa tendência também se reflete nas projeções da bacia do PCJ. O grau médio de urbanismo, que é de 95% em 2012, passaria a 94% em 2050, ou seja, estável. Mesmo estável no agregado, para alguns municípios a totalidade da população em área urbana aumenta.

Importante notar que nem toda a população dos municípios pertencentes à Bacia do PCJ utiliza de suas águas para fins consuntivos¹⁷, logo, apenas a população que efetivamente depende das águas do PCJ foi considerada. Também foram consideradas constantes as participações da população urbana neste consumo, tomando os dados levantados pelo Comitê de Bacias em seu Plano de Bacia (COBRAPE, 2011).

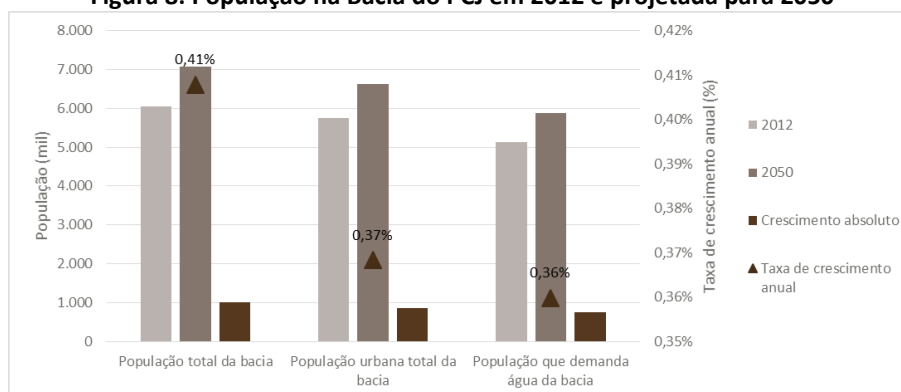
¹⁴ As mesorregiões são: Sul/Sudoeste de Minas, em Minas Gerais; e Araçatuba, Bauru, Piracicaba, Campinas, Macro Metropolitana Paulista e Metropolitana de São Paulo em São Paulo.

¹⁵ Trata-se do *World Population Prospects*, disponível em www.un.org/en/development/desa/population.

¹⁶ Método derivado da análise de economia regional conhecida como *shift-share*, onde há a decomposição de um agregado em diversas componentes para análises de contribuição relativa. Muito utilizado em economia regional e em economia do emprego, seus componentes padrão são: efeito nacional no crescimento; mudança esperada; e efeito competitivo regional.

¹⁷ Existem municípios que apresentam parte do seu território na bacia. Essa fração de seu território pode corresponder somente a áreas rurais, sem sistemas de abastecimento.

Figura 8: População na Bacia do PCJ em 2012 e projetada para 2050



Projeções de PIB e VAB

Também pela metodologia *mutatis-mutandi* foram projetados os incrementos no PIB e nos valores agregados brutos - VAB setoriais (agropecuária, indústria e serviços) como forma de se compreenderem as perspectivas futuras da região e dos valores sob risco. A base de dados para tal foram as contas regionais do IBGE para os anos entre 1999 e 2011, que também incluiu os agregados das mesorregiões, dos estados de Minas Gerais e São Paulo e do país.

A taxa anual de crescimento para o PIB nacional utilizada nas projeções para 2050 é de 1,55% ao ano. Essa é a taxa média, resultado da compilação das taxas de crescimento para o Brasil do FMI para os próximos cinco anos (2,9%) e ajustada paulatinamente para um período de crescimento compatível com o possível incremento anual das atividades econômicas brasileiras de longo prazo sem acréscimo de inflação (hiato do produto) (FMI, 2014). Embora bastante variável em decorrência do método de estimação, entende-se que este último esteja no patamar de 1% ao ano (CUSINATO, MINELLA, & PÔRTO JR, 2010).

Figura 9: Projeções do PIB (milhões R\$) da Bacia comparado a MG e SP

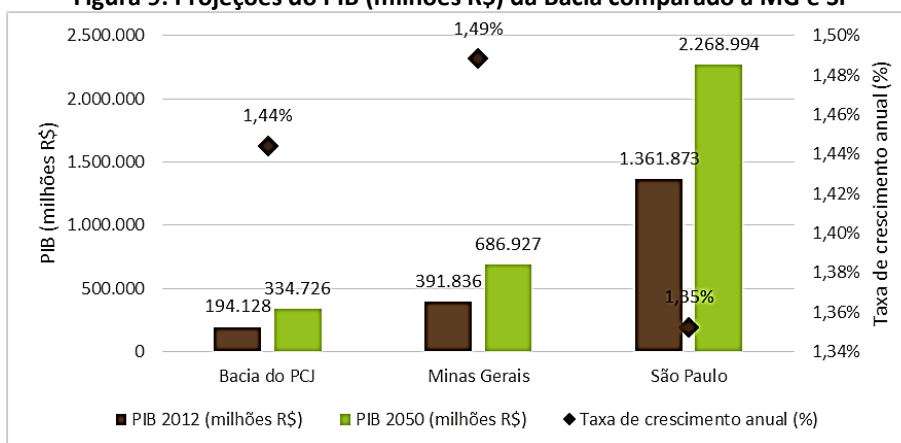


Figura 10: Projeções do VAB (agro, industrial e serviços) na Bacia (milhões R\$)

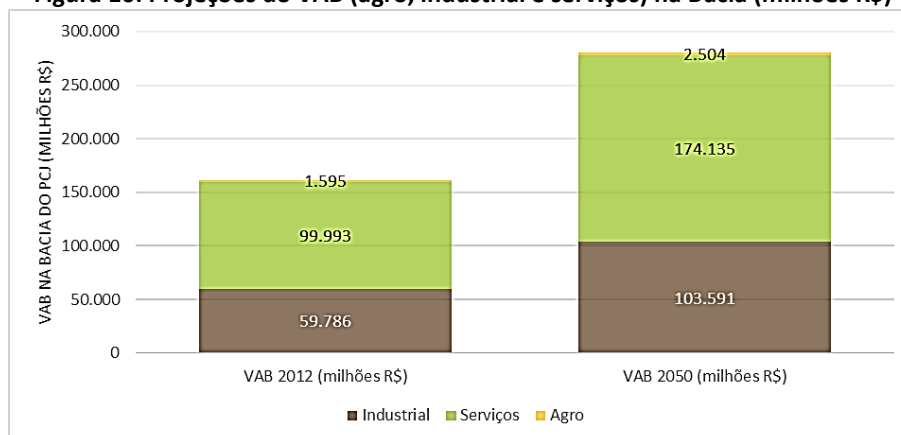
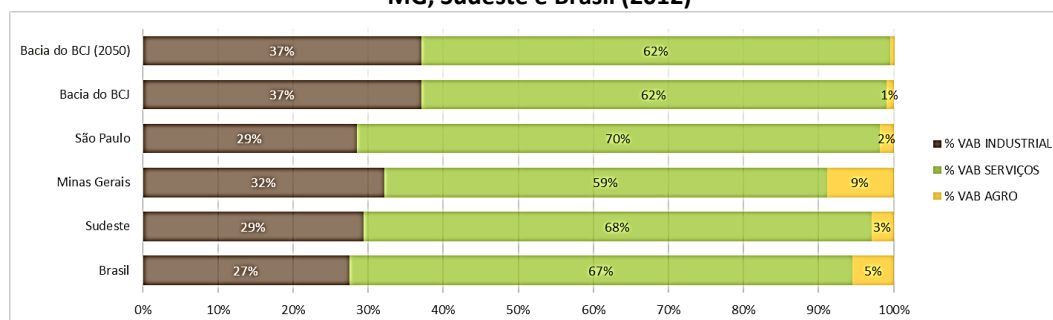


Tabela 1: Municípios que juntos representam mais de 50% do PIB da Bacia

	PIB 2012 (mil R\$)	Participação no PIB da bacia (%)	Participação no VAB industrial da bacia (%)
Campinas - SP	40.924.569	19,3%	12,4%
Jundiaí - SP	22.044.086	10,4%	10,5%
Piracicaba - SP	11.720.943	5,5%	6,1%
Louveira - SP	11.175.591	5,3%	5,4%
Paulínia - SP	8.317.844	3,9%	4,0%
Sumaré - SP	7.996.305	3,8%	4,6%
Limeira - SP	7.513.398	3,5%	3,9%
		51,7%	46,9%

Percebe-se a preponderância da indústria na geração de riquezas na região. O gráfico abaixo compara as participações relativas dos setores econômicos no País, região sudeste e nos estados componentes da Bacia do PCJ, onde destaca-se o alto grau de industrialização.

Figura 11: Participação relativa dos setores econômicos na bacia (2012 e 2050), nos estados de SP, MG, Sudeste e Brasil (2012)



Projeções de demanda de água

As projeções anteriormente descritas da população e de atividades econômicas se fazem necessárias para compreender a situação em 2050 com relação às demandas de água superficial na Bacia do PCJ¹⁸.

Os usos considerados foram: (i) abastecimento (representado pela água captada pelas companhias de saneamento básico e distribuída para as residências, comércios, prestadores de serviço e pequenas indústrias); (ii) usos industriais (conforme outorgas concedidas pelo Comitê de Bacias, ou seja, indústrias com auto-abastecimento); e (iii) usos rurais, segregados em dessedentação de animais e irrigação. Cada uso foi submetido à um racional específico para sua projeção em 2050.

- **Projeções para abastecimento:**

- Varia em função da população urbana por município em seu uso doméstico (e de comércio e serviços, ou seja, todo o consumo que ocorre via empresas de saneamento básico).
- Importante pressuposto: manutenção dos níveis de consumo per capita - ou seja, não está prevista alteração nos padrões atuais de consumo de água, seja para economia ou para um incremento no uso, mas sim uma continuidade do uso da água nos mesmos volumes que os atuais. Os índices de consumo per capita foram coletados junto ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, referentes ao último ano disponível (2012) para cada município, e compatibilizados com os dados de 2008 utilizados na elaboração do Plano de Bacias (SNIS, 2014) (COBRAPE, 2011).
- Ao consumo per capita foi acrescido o índice de perdas, também de acordo com as informações do SNIS (referentes a 2012). Essa contabilização se faz necessária uma vez que há necessidade de se captar mais água do que realmente consumido para compensar aquela que se perde nas redes de adução, tratamento e - principalmente – distribuição (SNIS, 2014).
- Também variável em função da população urbana estão as quantidades de efluentes gerados na bacia, mantidos os parâmetros de geração per capita atuais. Os índices de coleta e de tratamento de esgoto por município foram coletados junto ao SNIS, referentes ao último ano disponível (2012) para cada município, e compatibilizados com os dados de 2008 utilizados na elaboração do Plano de Bacias (SNIS, 2014) (COBRAPE, 2011).

- **Projeções para consumo industrial**

- O crescimento do uso de água industrial foi baseado na projeção de crescimento do VAB industrial por município da bacia, ou seja, utilizado como parâmetro para o ritmo de crescimento da demanda por água. Adotou-se o pressuposto complementar de continuidade na tendência da indústria local em economizar água, ou seja, de utilizar cada vez menos água para as mesmas quantidades produzidas. O Prêmio Fiesp de Conservação e Reúso da Água, em sua 10ª Edição, corroboram com a tendência¹⁹.
- Foi considerada uma melhora na eficiência de uso da água na produção (água industrial/VAB industrial) de 4% na primeira década da projeção, seguido de uma

¹⁸ Tanto o consumo atual como as projeções não consideram o consumo de água subterrâneo, ou seja, refletem a demanda que as águas dos rios do PCJ deverão suprir. Notadamente, manteve-se estável a razão de captação de água superficial atual com base nas informações do Plano de Bacia (COBRAPE, 2011).

¹⁹ Disponível em: www.fiesp.com.br/agenda/10o-premio-fiesp-conservacao-e-reuso-da-agua-prazo-de-inscricao/

melhora de 2% na década seguinte e assim por diante. As reduções no consumo de água sem alterações maiores nos processos produtivos se torna cada vez mais difícil, justo por isso as projeções reduzem a taxa em 50% a cada década.

- A taxa de redução na razão água industrial/VAB indústria, de 4%, é aproximadamente a mesma que ocorreu de fato na bacia do PCJ entre os anos de 2008 e 2014. As bases de dado para tal conclusão são, respectivamente, o Plano de Bacias (COBRAPE, 2011) e as outorgas atualmente concedidas (Comitês PCJ, 2014). O resultado desse ganho de eficiência representa, ao longo das décadas projetadas, 7,3% de aumento de consumo industrial.
- Para as cargas efluentes da indústria, foram mantidos os índices atuais de lançamento, projetados para 2050 de acordo com a demanda por água em cada município. Os dados para tal são oriundos do Plano de Bacias (COBRAPE, 2011).
- **Projeções para usos rurais**
 - O crescimento no consumo de água para as atividades rurais também é baseado na projeção de crescimento do VAB rural. Ou seja, o ritmo de crescimento do setor, capturado pelo seu valor agregado, serviu de parâmetro para o incremento na demanda por água. A distinção é a forma de cálculo das demandas, que destoa da utilizada pelo Plano de Bacias
 - A quantidade de água demandada foi calculada de duas formas:
 - Demanda para dessedentação de animais: com base na quantidade de animais nos municípios a partir da PPM (Pesquisa da Pecuária Municipal do IBGE) e a quantidade de água demandada por unidade animal de acordo com os valores de referência na literatura²⁰. Essa demanda para dessedentação foi então corrigida pelo uso da água subterrânea, que é de 11% do total, segundo o Programa de efetivação de enquadramento da Bacia PCJ (COBRAPE, 2014).
 - Demanda para irrigação: foram contempladas as áreas irrigadas²¹ sob cada tecnologia de irrigação nos municípios da bacia e as culturas irrigadas, com informações derivadas da PAM (Produção Agrícola Municipal, IBGE). Ao cruzamento entre áreas e culturas, foi imposta a demanda hídrica de cada cultura²².

Resultados gerais

Percebe-se que o uso primordial das águas superficiais na bacia do PCJ é o abastecimento, respondendo por 62% do total. Com as projeções realizadas para os usos industrial e rural, a participação relativa da demanda de abastecimento é reduzida para 55%, fruto de uma taxa de crescimento anual média de 0,36%.

A taxa de crescimento anual da demanda industrial, balizada pela projeção de seu VAB, é de 0,91%, o que faz com que a participação relativa no consumo das águas, atualmente de 27% do total, suba para a 29% em 2050. Já os usos rurais, que hoje representam 11% do total demandado, passarão a demandar 16% em 2050, traduzindo uma taxa anual de 1,57%, a mais alta entre os usos.

²⁰ Bovinos e Bubalinos: 50 l/d; Equinos, Muares e Asininos: 40 l/d; Suínos: 10 l/d; Ovinos e Caprinos: 8 l/d; Coelho: 0.25 l/d; e Ovinos 0.20 l/d.

²¹ Contemplaram-se somente as áreas rurais que participam da bacia do PCJ.

²² Milho, Feijão, Café, Cana-de-açúcar, Citrus (laranja, tangerina e limão) e Hortícolas (alho, amendoim, batata doce, batata inglesa, cebola, ervilha, melancia e tomate).

Figura 12: Demanda em 2012 e projetada (2050) por uso na bacia (l/s)

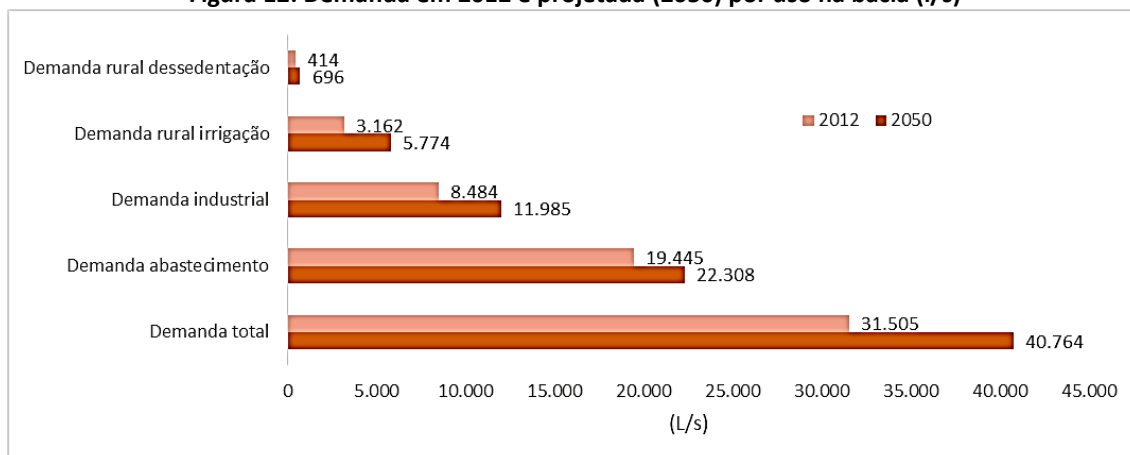
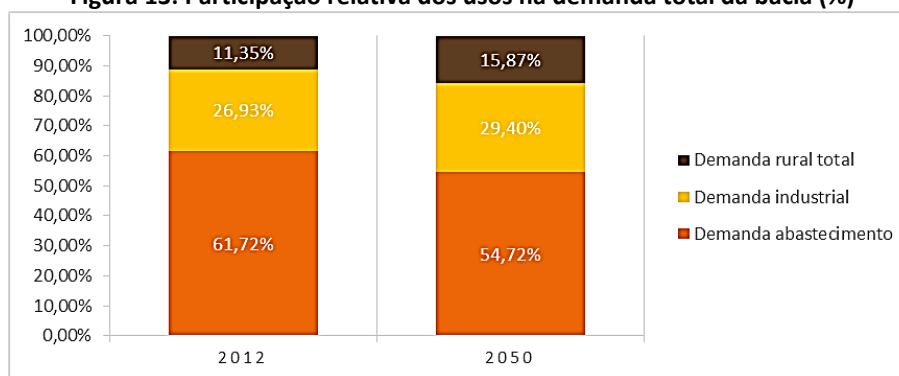


Figura 13: Participação relativa dos usos na demanda total da bacia (%)



6.2.4 Projeções climáticas

As projeções climáticas têm como objetivo oferecer subsídios para determinar a mudança no padrão de vazão da bacia hidrográfica e o impacto que essa mudança terá na quantidade e qualidade da água, que associada às trajetórias socioeconômicas responde a primeira pergunta da metodologia ECA: “Onde e de quê estamos em risco”.

Para tal são utilizados cenários climáticos futuros. Atualmente a grande maioria dos cenários construídos parte dos trabalhos do IPCC, cabendo a instituições nacionais regionalizar suas previsões. No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), se destaca como principal instituição com capacidade técnica para gerar cenários de clima futuro no território nacional. Sendo assim, a presente aplicação contou com cenários providos pelo INPE para a região de estudo, a bacia do PCJ.

Cenários utilizados (RCPs)

Para tal o INPE, mais precisamente o CCST (Centro de Ciência do Sistema Terrestre), faz uso de resultados de modelos climáticos globais (*Global Climatic Models* - GCM) compostos por uma complexa hierarquia de modelos que compreendem modelos climáticos simples, de complexidade intermediária e detalhados, além de modelos do sistema terrestre. Estes simulam as mudanças a partir de cenários de forçantes antrópicas.

Os modelos recentes, utilizados no AR5 do IPCC, utilizam uma nova gama de 4 cenários chamados *Representative Concentration Pathways* (RCPs), que expressam cenários prováveis das atividades humanas. Este estudo adotou os cenários RCP 4.5 e 8.5 para toda a simulação:

- RCP 4.5: É um cenário que estabiliza a radiação em 4.5 W/m^2 (aproximadamente 538 ppm de CO_2 equivalente) no ano de 2100 sem exceder esse valor. Simulado com o *Global Change Assessment Model* (GCAM), RCP 4.5 inclui emissões globais de gases do efeito estufa, espécies de vida curta, uso da terra em um *framework* econômico global (Thomson, et al., 2011). O aumento médio de temperatura nesse cenário é de $2,4^\circ\text{C}$ (Australian Government, 2013).
- RCP 8.5: É um cenário em que a concentração de gases do efeito estufa aumenta consideravelmente ao longo do tempo chegando a 8.5 W/m^2 (aproximadamente 936 ppm de CO_2 equivalente) com a tendência de continuar crescendo após esse período. Nesse cenário há elevada emissão de gases de efeito estufa sem nenhuma ação de mitigação aplicada (Riahi, et al., 2011). O aumento médio de temperatura nesse cenário é de $4,3^\circ\text{C}$ (Australian Government, 2013).

Modelo utilizado (*Downscaling*)

Com essa informação do clima global o INPE regionaliza os resultados através de técnica de *downscaling* dinâmico, onde a saída do GCM é usada para acionar um modelo regional em maior resolução espacial, o que, portanto, é capaz de simular as condições locais em maior detalhe.

O principal modelo climático regional utilizado pelo INPE para realizar projeções climáticas do Brasil e América do Sul é o HadGEM2-ES/INPE. Para obter projeções na escala espacial da Bacia PCJ foi feito *downscaling* dinâmico que utiliza a saída do modelo global como dado de entrada para o modelo regional Eta/HadGEM2-ES do INPE que possui maior resolução espacial e é capaz de simular as condições locais com maior precisão.

Assim, foram fornecidas ao INPE as coordenadas geográficas que cobrem a bacia geográfica em estudo. O INPE produziu, a partir disso, os dados de previsões de chuva gerados pelo modelo Eta/HadGEM2-ES do INPE para os cenários de emissão RCP4.5 e RCP8.5.

É importante notar que os dados são gerados para a maior resolução espacial possível, ou seja de $20 \times 20\text{km}$ (quadrículas). Temporalmente, são gerados dados de precipitação a cada 3 horas do período atual até 2099. São igualmente simulados dados para um período passado, os quais servirão para correção do viés do modelo (calibragem). Resumidamente, foram fornecidas planilhas eletrônicas com simulações de precipitação a cada 3 horas até 2099 para cada ponto do mapa ($20 \times 20\text{km}$) cobrindo a bacia.

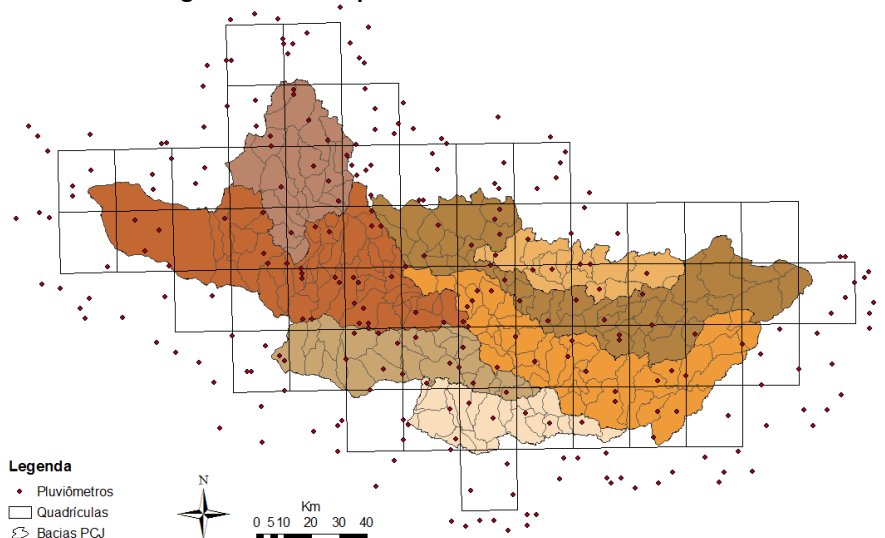
Correção de Viés

Os dados fornecidos pelos modelos necessitam de uma calibragem antes de serem utilizados, também chamado de correção do Viés. O mesmo é feito confrontando os dados simulados para o passado com dados reais coletados na região (precipitações observadas) e corrigindo tendências. Sendo um processo intensivo em dados e equacionamento, essa seção visa somente trazer um breve resumo. O Anexo 1: Avaliação das Projeções climáticas e modelo chuva-vazão, traz todo o processo utilizado para o tratamento dessas dados e correção do viés.

As precipitações diárias observadas em 277 pluviômetros da região, entre o período de 01 de janeiro de 1960 a 31 de dezembro de 1990, foram utilizadas para avaliar a qualidade dos dados

de chuva prevista na região e posteriormente correção dos dados. A Figura 14 apresenta os postos pluviométricos utilizados no estudo.

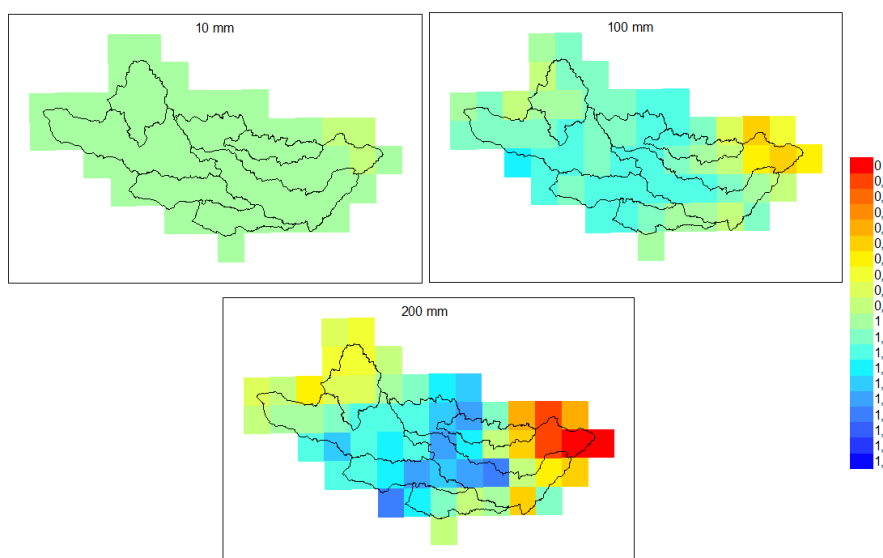
Figura 14: Postos pluviométricos utilizados no estudo



A precipitação foi interpolada para cada quadricula da grade, de maneira a representar a média ponderada das precipitações observadas em cada pluviômetro e foram calculados alguns índices que dizem respeito à qualidade dos dados de previsão, avaliando a consistência do modelo. A metodologia para comparação consistiu em comparar os 372 pares de valores modelado/observado (372 meses, ou 31 anos) para cada uma das 57 quadriculas da grade de resultados do modelo que cobre a Bacia do PCJ (SILVEIRA, et al., 2011).

Entre os índices utilizados é possível citar a proporção (%) de acerto dos dados (entre previsão e observação) (H), a probabilidade de detecção (POD), O falso alarme (FAR), e a razão de VIÉS (ver anexo 1 para detalhamento). Por fim, para correção do VIÉS das precipitações mensais utilizou-se o método da equidistância do quartil correspondente (LI, SHEFFIELD, & WOOD, 2010) (detalhamento no anexo 1).

Figura 15: Exemplo de teste de consistência aplicado ao viés da previsão



Incertezas sobre as mudanças climáticas

A variabilidade climática resultante em parte das complexas interações não lineares entre os fenômenos naturais faz com que as projeções climáticas sejam suscetíveis a um elevado grau de incertezas. Diversos métodos referentes à modelagem são utilizados em conjunto para minimizar as incertezas. É importante ressaltar que nenhum modelo pode prever com certeza um evento climático futuro devido a alguns fatores divididos nas seguintes categorias:

Quadro 4: Fatores de incerteza dos cenários de clima

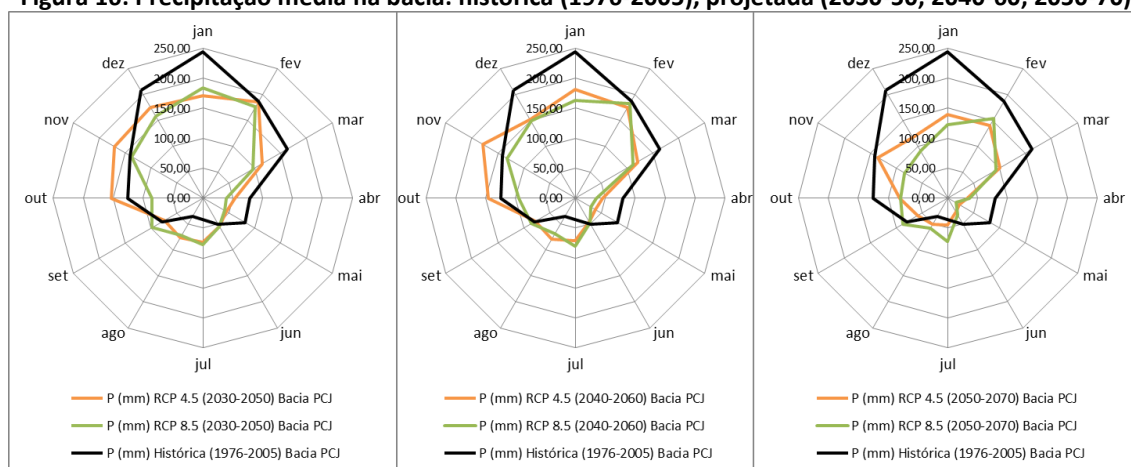
- Incerteza sobre as emissões: Não é possível prever com precisão as mudanças de emissão de gases do efeito estufa (GEE) em função dos diversos fatores socioeconômicos envolvidos e da matriz energética futura.
- Concentração de GEE: O fato do CO₂ não sofrer reações químicas na atmosfera faz com que ele permaneça na mesma durante um longo período, sendo retirado através do armazenamento (sequestro) em oceanos e vegetação, considerados sumidouros de carbono. Dessa forma a projeção de concentração depende das emissões do passado, futuro e da modelagem do fluxo de sumidouros.
- Variabilidade Natural do tempo e clima: O sistema atmosférico é sensível a mudanças mínimas difíceis de serem mensuráveis. A imprecisão dessas informações gera incerteza nas variáveis de entrada dos modelos o que interfere na previsão do desenvolvimento das variações naturais.
- Incertezas da modelagem: O conhecimento e a capacidade de modelar o sistema climático são limitados. Os modelos são construídos com diferentes premissas o que gera diferentes magnitudes e padrões de mudanças climáticas.

As incertezas fazem parte de todas as projeções sobre mudanças climáticas. Uma forma de avaliar e minimizar os efeitos das incertezas citadas sobre a magnitude e/ou padrões de mudanças climáticas é elaborar ou utilizar um conjunto de simulações e modelos, chamados de *ensembles*, de forma a analisar os efeitos das diferentes fontes de incerteza.

Dado o caráter didático do presente estudo, associado à restrição de tempo do mesmo, o mesmo conta somente com a construção de projeções climáticas advindas do modelo descrito. Igualmente, foi adotada uma técnica de correção de viés, sendo possível explorar outras e confrontá-las.

Recomenda-se, portanto, que futuros estudos que visem a tomada de decisão contem com a produção de uma gama de cenários a serem confrontados (*ensembles*) para a redução das incertezas dos cenários climáticos.

Figura 16: Precipitação média na bacia: histórica (1976-2005), projetada (2030-50; 2040-60; 2050-70)



6.2.5 Mudanças no padrão de vazões

Uma vez que o risco de interesse recai sobre os recursos hídricos, é necessário compreender como as alterações nos padrões de precipitação causados pelas MC afetarão o regime de vazões na bacia. Assim, os dados de previsão de chuva para os cenários RCP 4.5, RCP 8.5 e SMC precisam ser traduzidos em vazão para que seja possível conhecer a alteração na quantidade e qualidade da água na bacia PCJ.

Modelo chuva-vazão é uma ferramenta que consiste em obter a vazão correspondente ao exutório de uma bacia a partir de dados de precipitação em uma dada bacia hidrográfica. Neste caso, o modelo chuva-vazão proposto neste estudo tem como objetivo principal alimentar a base de dados do SSD PCJq (ver seção 6.2.6) para cálculo das alterações na quantidade e qualidade da água. O mesmo abrange toda a extensão da bacia do PCJ e foi discretizado em 225 sub-bacias, sendo desta forma capaz de obter um modelo que estabeleça uma vazão incremental para cada uma dessas bacias baseado na chuva prevista pelo modelo Eta/HadGEM2-ES do INPE.

Modelo utilizado

O anexo 1 traz todo o detalhamento do equacionamento feito para o estabelecimento e calibragem do modelo chuva-vazão utilizado neste estudo.

Para essa aplicação, foi elaborado um modelo hidrológico para determinar, a partir dos dados de precipitação fornecidos pelo INPE (e calibrados), as séries de vazões para cada uma das sub-bacias que estão presentes no Plano de Bacias do PCJ. Tal metodologia foi calibrada e testada para o período de dados compatível.

Resumidamente, o modelo parte de uma equação que calcula a série de previsão de vazões correspondente a série de precipitações, dado um valor inicial de vazão. Portanto, tem-se que para o cálculo da vazão em um determinado instante de tempo, utiliza-se o valor das

precipitações do mês atual, do mês passado e do mês retrasado. Cada um destes parâmetros é multiplicado pelos seus respectivos coeficientes (detalhes no anexo 1).

A calibração do modelo chuva-vazão se deu para cada uma das 225 sub-bacias. Sendo que o processo de calibração do modelo Chuva-Vazão é realizado com base na série de precipitações observadas. Por fim, são determinados três cenários de vazões (sem mudanças climáticas, RCP 4.5 e RCP 8.5) os quais, somados a novas trajetórias socioeconômicas, alimentarão a ferramenta de alocação de água e qualidade a fim de estabelecer os impactos físicos na bacia (seção 6.2.6).

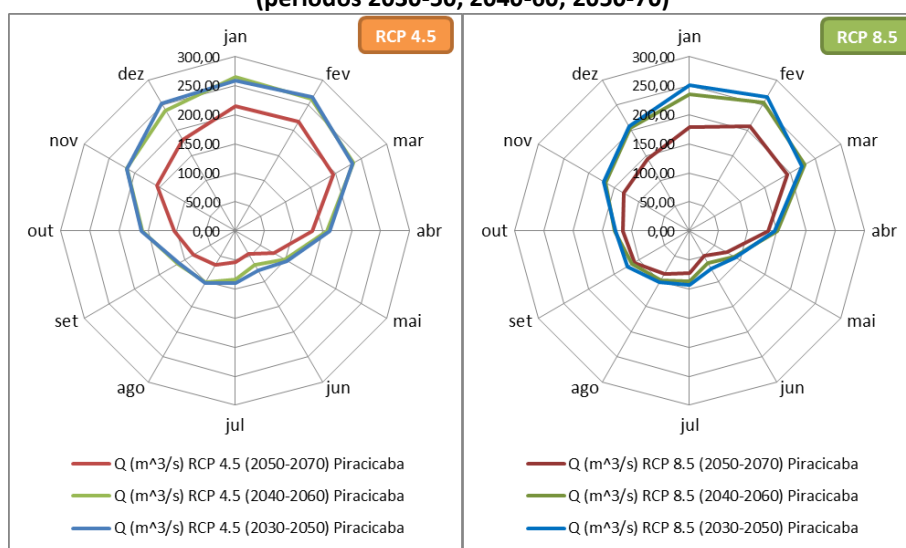
É importante observar que existe uma diversa gama de possíveis modelos chuva-vazão aplicáveis a este tipo de estudo com diversos níveis de complexidade e acurácia. Na escolha do mesmo é necessário, portanto, ponderar o esforço necessário, a disponibilidade de informações, o tempo necessário, o alinhamento com o objetivo último do estudo, entre outros. No caso deste estudo, foi adotada modelagem mais adequada dentro do tempo e informação disponível.

Escolha do período representativo

Para a avaliação das alterações na quantidade e qualidade da água a partir destes novos dados de vazão, faz-se necessário a escolha de um período que tenha um clima representativo do ano analisado. Isso por que, dada a variabilidade natural das precipitações, é necessário obter novas curvas de permanência (probabilidades) representativas do novo clima futuro. Por exemplo, considerar somente os eventos de chuva (e de vazão a eles associados) simulados para o ano de 2050 não representa o padrão climático daquela época, podendo esse ano específico ser um ano atípico, por exemplo. Deve-se, portanto considerar o padrão do conjunto de chuvas simuladas (períodos de retorno, permanências, médias) durante um período de anos (décadas, por exemplo) como o padrão do clima futuro.

Neste sentido, a partir dos dados provenientes desta fase, foi possível obter um diagnóstico completo das vazões previstas nos diferentes exutórios da bacia para cada ano e mês, desde o presente até 2099. Com esse diagnóstico temporal e com a escolha do ano de análise (2050), foi adotado, neste estudo, o período de 2050 a 2070 (duas décadas) como período representativo do clima de 2050. Essa escolha buscou ser conservadora, uma vez que toma um período à frente do ano analisado e, a partir da análise dos dados, se mostrou um período crítico de escassez hídrica na região. Assim, todas análises a seguir, são feitas baseadas em simulações para as precipitações e vazões previstas para as décadas de 50 e 60 nos cenários RCP 4.5 e 8.5, aplicadas ao ano de 2050.

Figura 17: Exemplo de vazões projetadas nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 para a bacia do Piracicaba (períodos 2030-50, 2040-60; 2050-70)



6.2.6 Alterações na quantidade e qualidade de água

Para responder a pergunta 1 (onde e de que estamos em risco?) e obter os riscos físicos totais é necessário conhecer a alteração na quantidade e qualidade de água para a Bacia PCJ, essa alteração é reflexo da mudança no padrão de vazões em conjunto com as projeções socioeconômicas desenvolvidas nas seções anteriores e são traduzidas, por exemplo, por modelos de alocação de água. Os resultados serão igualmente gerados de acordo com os 3 cenários de vazão: sem mudanças climáticas, com mudanças climáticas no RCP 4.5 e RCP 8.5.

Ferramenta utilizada

Para obter o risco físico total foi utilizado o modelo SSD PCJq que é um modelo específico para a Bacia PCJ²³, Sistema de Suporte à Decisão desenvolvida para a Agência PCJ, pelo LabSid/USP. O sistema é constituído de uma base cartográfica georreferenciada, o modelo de análise de rede de fluxo é o AcquaNet, que através da formação de uma rede de nós e links possibilita a simulação da quantidade e qualidade²⁴ da água que flui nessa rede (COBRAPE, 2014).

O SSD PCJq possibilita a análise e gerenciamento da bacia a partir de modelos de otimização e simulações integrados a um banco de dados. Ele possibilita analisar e criar cenários de ocupação,

²³ Existe uma gama de softwares e modelos matemáticos utilizados para se obter informações sobre os recursos hídricos de determinado país ou região. Cada estudo procura adaptar essas ferramentas para a região específica de trabalho ou desenvolver uma ferramenta específica para a mesma, de forma a obter informações mais precisas e objetivas para o trabalho em desenvolvimento. Nesse estudo foi utilizado o SSD PCJq desenvolvido especificamente para a Bacia do PCJ, que apesar ter sido construído originalmente para determinar o enquadramento das sub-bacias, apresenta modelagem e resultados convenientes para a aplicação. Detalhes do modelo no anexo 1.

²⁴ O módulo de qualidade foi desenvolvido por TEIXEIRA(2004) e é uma ferramenta computacional capaz de gerenciar de forma integrada os aspectos de quantidade e qualidade de água em uma bacia hidrográfica. Este módulo é capaz de determinar as concentrações de diversos parâmetros de qualidade de água em diversos pontos ao longo dos rios que compõem uma bacia.

expansão e investimentos da bacia, obtendo resultados com interface gráfica, mapas temáticos, gráficos e planilhas contendo os resultados completos para cada simulação.

Na aplicação do estudo foram simulados diferentes cenários de demanda e vazões naturais (descritos anteriormente) para a Bacia do PCJ em 2050 de forma a quantificar essas alterações físicas. Os dados de entrada para essa simulação são inseridos ou alterados através de uma interface em excel que possui diversos parâmetros de quantidade e qualidade da água para abastecimento humano, indústria e irrigação em uma base municipal.

Para as medidas adaptativas, descritas de forma mais detalhada na seção 8.4-Cálculo dos benefícios (perdas evitadas) das medidas adaptativas, o mesmo processo de alteração dos parâmetros de entrada e simulação de diferentes cenários, discutido anteriormente, será repetido para cada medida proposta no estudo.

Resultados

As figuras abaixo mostram alguns resultados agregados obtidos nesta etapa. Com esses resultados tem-se um diagnóstico completo “de que estamos em risco”, respondendo a primeira pergunta do método. Suas saídas, ou seja, os impactos físicos, servem de insumo para responder a próxima pergunta, sendo traduzidos em valores econômicos através dos métodos de valoração descritos na seção 7 - Aplicação - Pergunta 2: Qual a magnitude da perda?.

Figura 18: Demanda hídrica e déficit hídrico em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s)

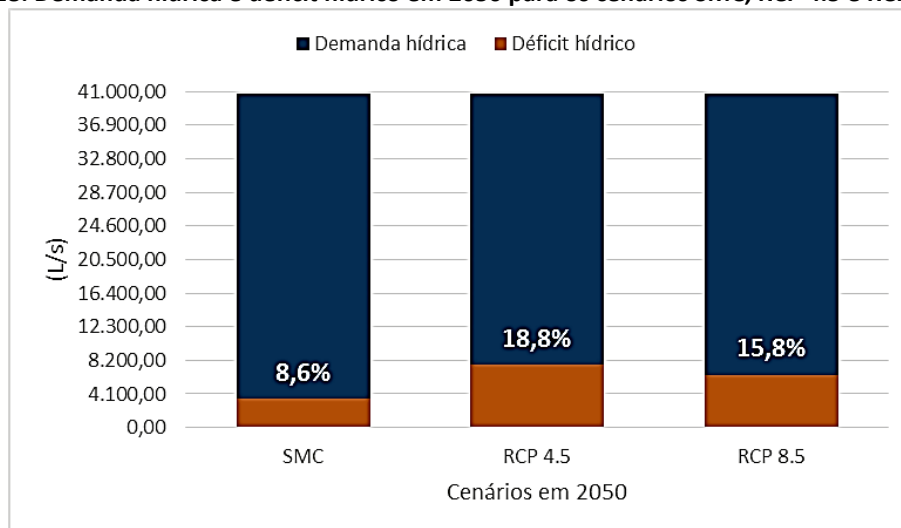


Figura 19: Déficit hídrico para uso doméstico, industrial e rural em 2050 nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s)

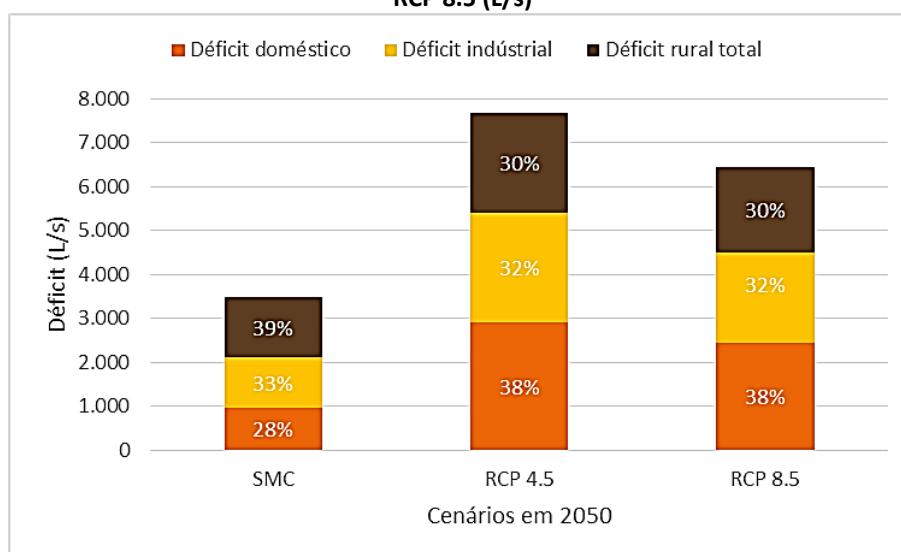


Figura 20: Déficit hídrico de abastecimento por município em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s)

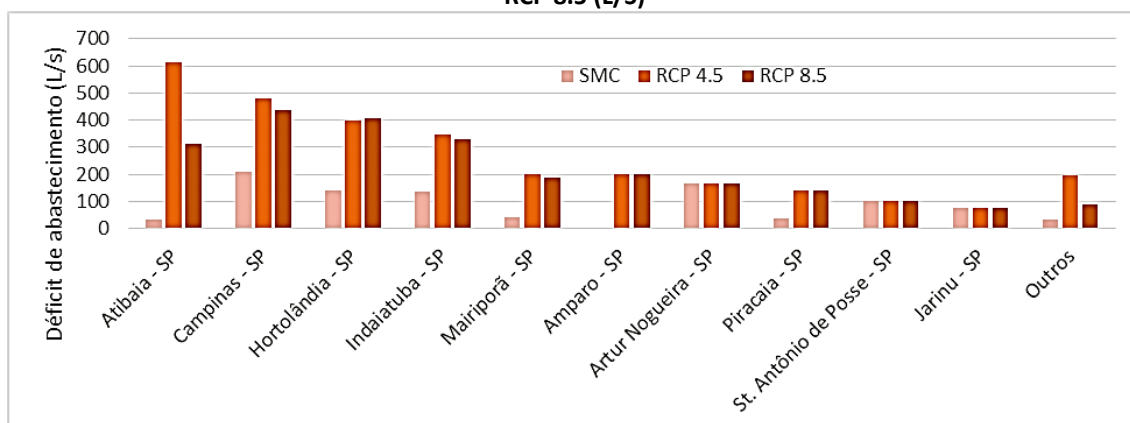


Figura 21: Déficit hídrico para uso industrial por município em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s)

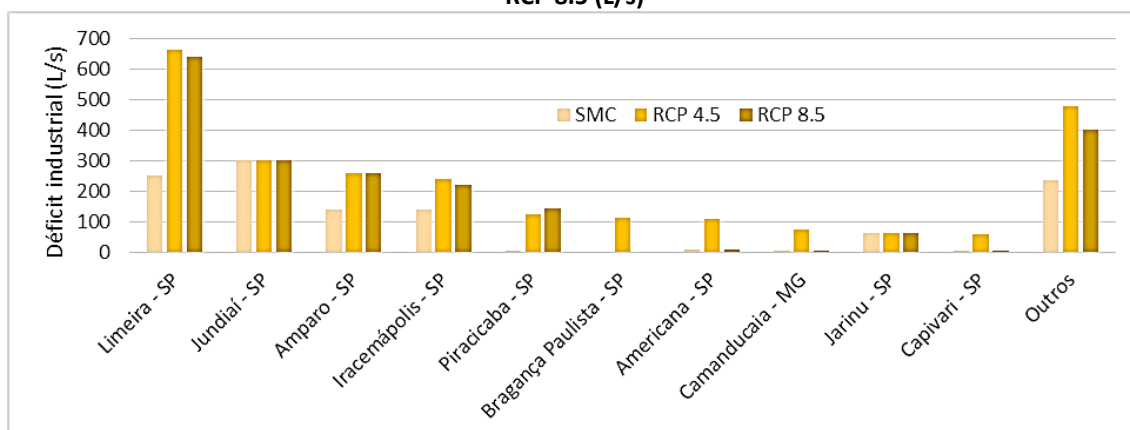


Figura 22: Déficit hídrico para usos rurais por município em 2050 para os cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s)

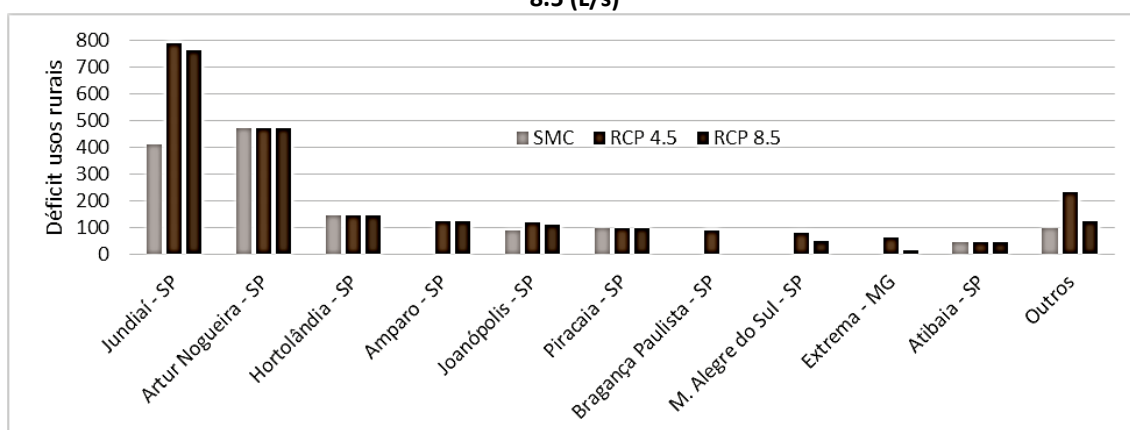
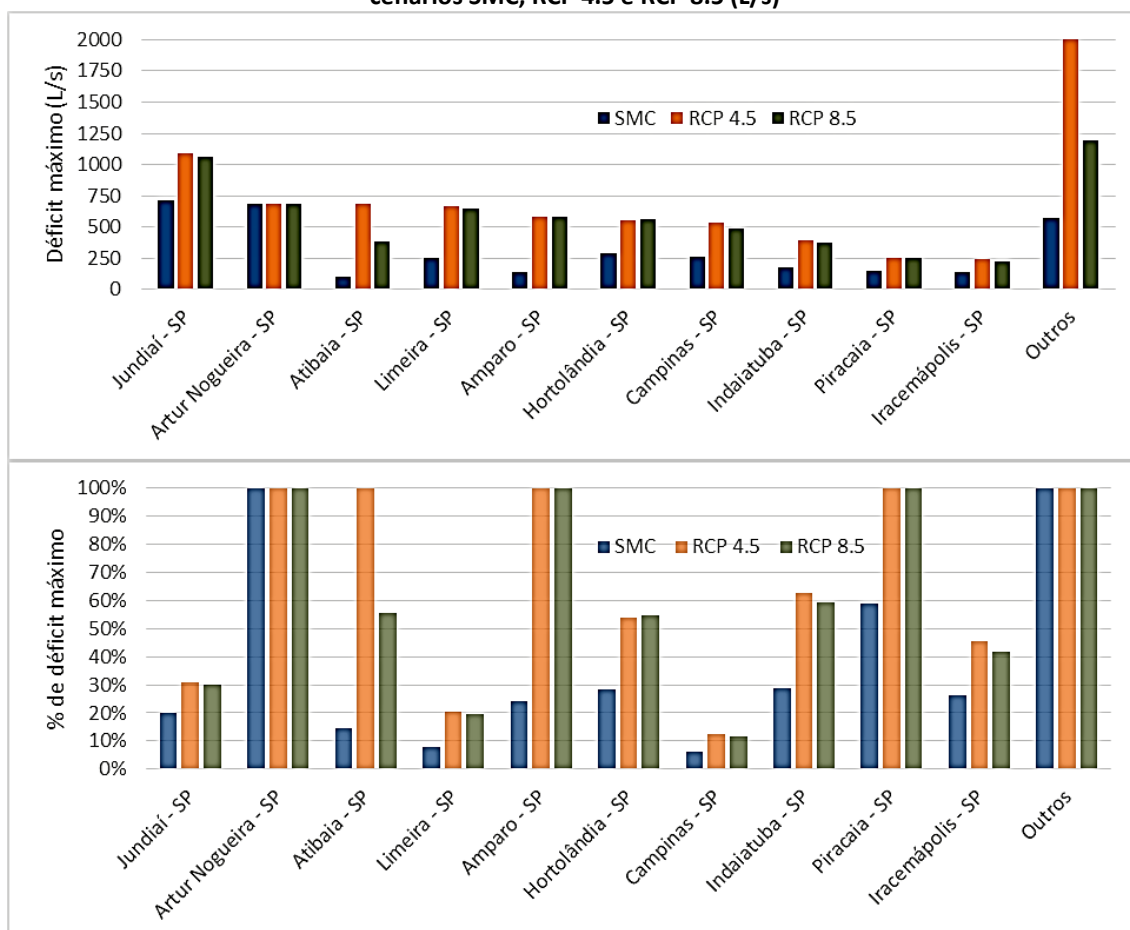


Figura 23: Projeção do déficit máximo (L/s) e percentual de déficit máximo (%) para os municípios nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s)



7 APLICAÇÃO - PERGUNTA 2: QUAL A MAGNITUDE DA PERDA?

Uma vez respondida a primeira pergunta e caracterizados os riscos físicos, nesse caso, os resultados físicos projetados para as alterações na quantidade e qualidade da água, calculam-se os correlatos impactos econômicos a fim de estimar a magnitude da perda esperada. Como abordado nas primeiras seções, a metodologia *ECA* estima a perda esperada para dois horizontes temporais, hoje e um ano no futuro, e, para este último, estima a perda sem considerar as MC e com cenários de MC compondo o risco climático total. Esta aplicação está considerando somente o cenário futuro (com e sem MC), permitindo inferir a magnitude da perda total projetada e seu incremental causado pelas MC.

Quadro 5: Usando estimativas de perdas esperadas

Perda anual esperada é uma estatística que fornece uma ideia da magnitude dos impactos causados pelos perigos climáticos. Um cenário de perda anual esperada é uma poderosa ferramenta, já que permite ao tomador de decisões comparar as perdas acumuladas em vários períodos de tempo - por exemplo, para determinar qual o aumento de dano esperado entre agora e algum momento no futuro -, bem como comparar a perda associada a perigos climáticos com a de outros riscos. Assim, concede aos tomadores de decisão uma ideia da escala de danos potenciais.

Técnicas de modelagem de catástrofes naturais podem ser aplicadas para avaliar a gravidade e frequência de uma gama de eventos relacionados com o clima e se chegar a uma estimativa das perdas totais. Esta abordagem também pode ser aplicada para medir impactos climáticos graduais, como a elevação do nível do mar e mudanças de padrões precipitação. Cálculo de perdas médias esperadas não é preditivo e sob nenhuma circunstância deve ser interpretado como uma previsão para a perda real em um determinado ano. No entanto, a quantificação do problema muitas vezes justifica a ação (BRESCH & SPLEGEL, 2011).

Como abordado na seção 5.2, a fim de traduzir a relação de causa e efeito entre as alterações na qualidade e quantidade de água e seus impactos econômicos (também tratados como custos), faz-se uso de técnicas de valoração econômica, as quais relacionam seus fatores e variáveis. As próximas seções objetivam, após destacar algumas premissas gerais aplicadas, descrever as técnicas utilizadas na aplicação para estimar as perdas econômicas de acordo com as categorias:

- Abastecimento humano
- Indústria
- Usos rurais
 - Dessedentação animal
 - Irrigação
- Mudanças na qualidade da água

Como abordado na seção 5.2, existem diversas técnicas de valoração econômica e cada uma apresenta vantagens e desvantagens²⁵. O critério de sua escolha normalmente acaba sendo a própria disponibilidade de dados e seu grau de confiabilidade.

Entre os dois grandes grupos de técnicas, aqueles que usam os próprios mecanismos de mercado e aquelas com cunho comportamental, a presente aplicação foca na primeira, fazendo assim uso de preços de mercado, custos de reposição, custos evitados e funções de produção.

²⁵ Não é objetivo deste estudo discorrer sobre as diferentes técnicas possíveis, sobretudo por ser uma área de conhecimento extensa. Para aprofundamento no tema recomenda-se a leitura elencada na seção 5.2.

Outros usuários do mesmo recurso hídrico também serão afetados pelas MC, mas seus efeitos físicos e monetários não foram calculados. Notadamente, sabe-se que há uma gama de serviços ecossistêmicos que dependem da manutenção de uma vazão mínima ecológica para manutenção da fauna, flora e recarga de aquíferos. Há também o uso para navegação comercial e recreativa - se não especificamente nas águas do PCJ, a navegação comercial na hidrovía do Paraná-Tietê depende da vazão de seus afluentes. Por fim, sabe-se que os aproveitamentos hidrelétricos existentes na bacia são de pequeno porte e, justo por isso, requerem um fluxo constante e água para a produção de energia elétrica.

As próximas seções mostram os detalhes dos cálculos para cada uso valorado e, ao final, a agregação que representa o risco climático total.

7.1 MAGNITUDE DA PERDA NO ABASTECIMENTO

Trata-se da perda causada pelo não atendimento da demanda por água de abastecimento. O atendimento para abastecimento humano é prioritário em relação aos demais usos, ou seja, antes de faltar água para a captação pelas empresas de saneamento, os usos rurais e industriais devem ter sido interrompidos. Não obstante essa mecânica de priorização, devidamente aplicada, em determinados municípios ocorreu déficit hídrico para abastecimento.

Lógica

A valoração parte do fato de que o déficit hídrico para este uso será repostado, ou seja, a valoração pelo custo de reposição. Em casos extremos, a água deverá ser “importada” para suprir a demanda através de operações emergenciais com caminhões-pipa para a parcela da população não atendida. A operação de suprimento emergencial de água via carro-pipa é comum para os estados brasileiros do semiárido, realizadas conjuntamente entre o Ministério da Integração Nacional, por meio da Secretaria Nacional de Defesa Civil, com o Exército Brasileiro. Nestes casos, os volumes de água supridos são os mínimos definidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) para o consumo humano.

No caso da valoração desse custo no PCJ, considerou-se não apenas o suprimento de água emergencial para consumo humano, mas sim a reposição total da água não abastecida. A lógica para tal escolha é a utilização do custo de reposição como uma forma de se mensurar a perda econômica oriunda da interrupção de abastecimento. Comércio, serviços e indústrias abastecidas pelo sistema enfrentariam a escolha entre fechar (e deixar de obter seus rendimentos) ou arcar com os custos da obtenção do recurso por vias alternativas. Enquanto o custo de obtenção da água via carros-pipa for menor do que as perdas pela interrupção das receitas, essa opção será feita. Dessa forma, tem-se que esse valor é o que representa de forma mínima o custo econômico de desabastecimento.

O preço do recurso hídrico de reposição foi de R\$ 400 por 10 mil litros- valor esse praticado atualmente na bacia. Nota-se que em épocas de crise no abastecimento hídrico, seja por condições climáticas adversas ou por interrupções físicas no sistema, a escassez do recurso faz com que o valor cobrado por fornecedores privados suba. Esse resultado é fruto do desencontro entre uma oferta programada para menores demandas com o acréscimo de curto prazo desta. Dessa forma, tem-se que o valor de referência utilizado deve ser compreendido como conservador.

Resultados

O cálculo desse custo foi realizado por município, partindo da quantidade deficitária de água e do tempo em que esse déficit persistiu, ou seja, dos dias em que não houve abastecimento. Nota-se que esse déficit não é necessariamente integral, ou seja, para 18 municípios há risco de desabastecimento de ao menos parte da população (Figura 23: Projeção do déficit máximo (L/s) e percentual de déficit máximo (%) para os municípios nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (L/s)).

O risco climático atual já embute uma chance de se deixar 4,6% dos habitantes da bacia sem água durante algum momento no ano de 2050. Com as mudanças climáticas no cenário de emissões RCP 4.5, essa percentagem sobe para 13,7% da população. A tradução monetária do custo de se repor o abastecimento dessa parcela da população pelo tempo necessário (computado para cada município) é de R\$ 790 milhões. Em termos de litros faltantes, tem-se a necessidade de 19,7 bilhões.

Já no cenário de emissões RCP 8.5, 12% das pessoas ficam sob risco, ou seja, um pouco menos do que no cenário RCP 4.5. Por isso, a reposição dos 13,9 bilhões de litros faltantes monta em R\$ 555 milhões.

Figura 24: Perdas em abastecimento para os municípios da Bacia PCJ nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (mil R\$)

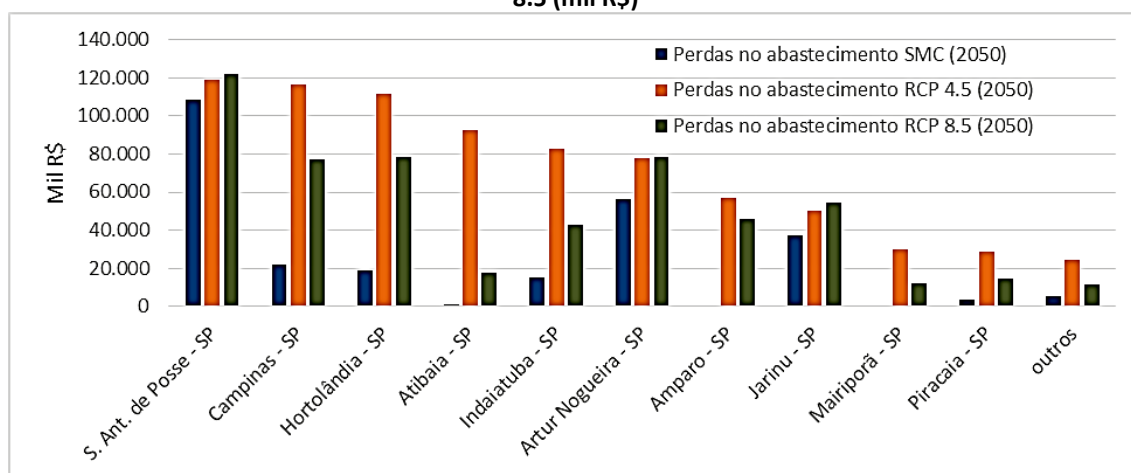
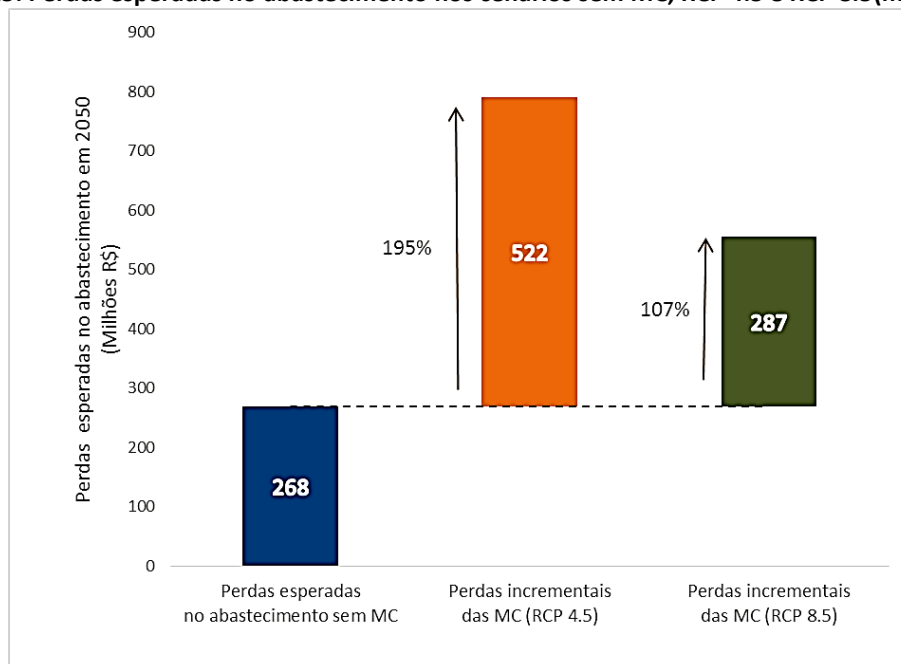


Figura 25: Perdas esperadas no abastecimento nos cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (milhões R\$)



7.2 MAGNITUDE DA PERDA NA INDÚSTRIA

A indústria instalada na bacia do PCJ é responsável pela produção de R\$ 59,8 bilhões em valor agregado, representando 18,5% do total da indústria no estado de São Paulo. A água é insumo fundamental para tal produção, seja para resfriamento de processos, como componente de fórmulas químicas, insumo direto na indústria alimentícia, na diluição de produtos químicos ou ainda para lavagens de máquinas e outros. A maior parte das indústrias obtém a água via abastecimento próprio, ou seja, via captação superficial ou subterrânea desvinculada das empresas de saneamento. São 505 as outorgas para tal uso no PCJ em 2014, entre captação e lançamento.

Segundo Feres et al. (2005) em análise detalhada de dados primários de 488 estabelecimentos industriais localizados na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, vizinho ao PCJ, 96,4% do volume total demandado pelas indústrias é atendido por captação própria²⁶. Naquela bacia, 84,3% da captação é realizada com águas superficiais. Não obstante a inexistência de amostra em nível similar de detalhamento para a bacia do PCJ, infere-se pelo grau de similaridade entre estas que as participações relativas respeitam essa mesma característica.

Lógica

A partir das projeções socioeconômicas, é sabido quanto o conjunto de indústrias dos municípios da bacia geram a cada ano em VAB. Dessa forma, o cálculo desse efeito implica na

²⁶ Ainda segundo FERES et al (2005), em termos de quantidade de estabelecimentos industriais na bacia do Paraíba do Sul, 52% são os que utilizam abastecimento exclusivamente via rede pública, enquanto outros 15% atendem suas demandas tanto via rede pública como via captação própria. Os 33% restantes fazem uso exclusivo de captação própria. A quantidade de estabelecimentos que faz uso de captação própria é inversamente proporcional ao volume captado - ou seja, poucas indústrias captam grandes volumes via auto-abastecimento.

subtração deste valor pelo período de duração dos eventos extremos em que haja a necessidade de se priorizar o abastecimento humano - gerando déficits de captação para a indústria.

Os custos para as indústrias foram calculados de forma simplificada, ou seja, sem levar em consideração as especificações dos processos produtivos das indústrias instaladas na bacia. Essa sofisticação requer o conhecimento próprio de cada um dos processos de cada uma das indústrias. Dessa forma, a razão entre o VAB e a demanda por água superficial foi derivada e aplicada ao VAB projetado para 2050, alcançando-se assim a demanda industrial por água em 2050. Como já exposto anteriormente, tal relação considerou uma paulatina melhora na relação água/VAB por meio de acréscimos na eficiência de uso do recurso.

Cada um dos cenários de mudanças climáticas apresenta diferentes magnitudes de déficit no abastecimento da indústria no PCJ em 2050. No RCP 4.5, as indústrias de 47 dos 75 municípios da bacia enfrentam durante ao menos algum momento no ano algum desabastecimento. Já no RCP 8.5, são 44 municípios afetados.

Uma vez que se sabe a magnitude dos déficits hídricos previstos para 2050 (Figura 21) calculou-se o percentual relativo de VAB industrial sob risco. Considerou-se para tal que do VAB, 80% é dependente de auto abastecimento, conforme discutido acima em referências às indústrias na bacia do Paraíba do Sul.

A passagem das variações físicas (déficit hídrico) para econômicas (perda de VAB) foi realizada como uma proporção linear do VAB de 2050 e sua demanda por água superficial. Eis que, em complemento a esse raciocínio, não apenas a magnitude do déficit influenciará na perda de capacidade produtiva das indústrias, mas também a magnitude do VAB. Dessa forma, como uma medida conservadora, foi realizada ponderação da perda financeira pelo período de desabastecimento.

De forma simplificada: se o VAB industrial do município é de R\$ 100 milhões em 2050, entende-se que R\$ 80 milhões estão sob risco - parcela referente ao auto abastecimento via captação superficial pelas indústrias da bacia. Caso a magnitude do desabastecimento (déficit hídrico) seja de 10% da quantidade de água requerida por 2 dos 12 meses do ano, estimou-se que R\$ 1,33 milhões não serão produzidos.

Ou seja, ponderou-se de forma conservadora os meses em que a atividade permanece sem água e, a magnitude desse déficit.

Sabe-se que as linearizações adotadas são uma abstração da realidade: determinadas indústrias poderão produzir durante os meses chuvosos a quantidade que deixaria de produzir nos meses secos; outras, entretanto, poderão necessitar parar suas produções por todo o ano por conta de falta de água durante um ou dois meses; adicionalmente, a magnitude do déficit pode ser crucial para algumas indústrias enquanto que para outras pode significar uma perda até menor do que proporcional. Mesmo diante das suposições e do alto nível de conservadorismo adotado, tem-se nos números resultantes um grau de magnitude quanto ao impacto pecuniário do risco climático total.

O cálculo desse custo foi realizado por município, partindo da quantidade deficitária de água e do tempo em que esse déficit persistiu, ou seja, dos dias em que não houve abastecimento.

Quadro 6: Custos de oportunidade na indústria

Existe um custo de oportunidade não valorado no presente estudo mas que sem dúvida influenciará o desenrolar futuro da produção industrial na bacia do PCJ e em outras do país em situações de risco de desabastecimento. Esse custo representa os limites ao crescimento econômico devido à saturação da captação industrial pela menor quantidade de água futura. Uma vez que existam limitações à instalação de novas empresas devido à impossibilidade de se outorgarem novas captações, não apenas se vislumbra uma situação onde um número menor de empresas se instala nos municípios da bacia, como as empresas que lá estão se limitam em expansão e ampliação da capacidade produtiva (fato que, já ocorre atualmente).

O custo de oportunidade ocorre de forma contínua ao longo dos anos, haja vista que a cada ano a produção industrial tenderia a crescer mais do que pôde. É um custo incorrido sempre que há uma redução na quantidade de água, por menor que seja

Resultados

O risco climático atual já embute uma chance de se deixar de produzir 5,6% do VAB industrial durante o ano de 2050. Com as mudanças climáticas no cenário de emissões RCP 4.5, essa percentagem sobe para 7,4% de um montante financeiro de R\$ 113 bilhões. A tradução monetária da produção adicional não ocorrida é de R\$ 2,05 bilhões em 2050. Em termos de litros faltantes, tem-se a necessidade de 214 milhões de litros.

Já no cenário de emissões RCP 8.5, 6,8% do VAB industrial não é produzido, ou seja, R\$ 7,7 bilhões. Deste montante, R\$ 1,4 bilhões é o diferencial entre o risco climático já existente e a expectativa de piora com a continuidade das emissões de gases de efeito estufa. Em termos de volume de água, o déficit hídrico industrial em 2050 seria de 176 milhões de litros.

Os gráficos abaixo trazem os resultados por município, aclarando a questão distributiva embutida na distribuição de outorgas de água.

Figura 26: Perdas na indústria por município da Bacia PCJ nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (mil R\$)

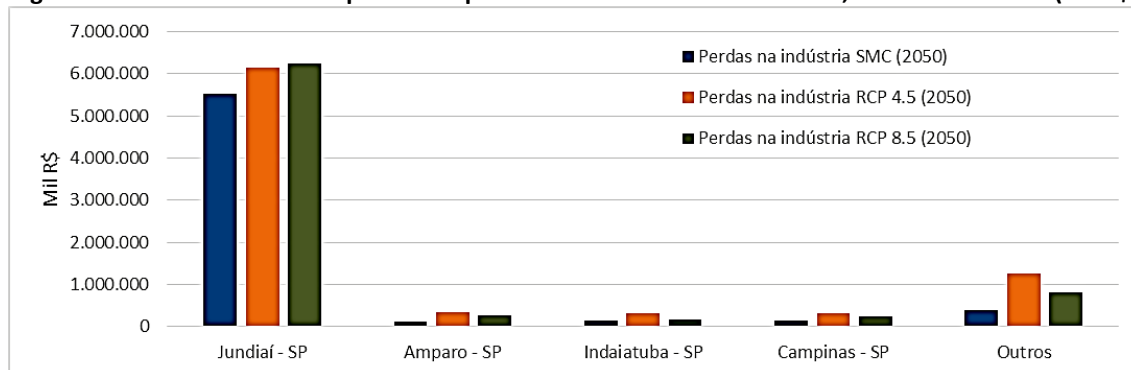
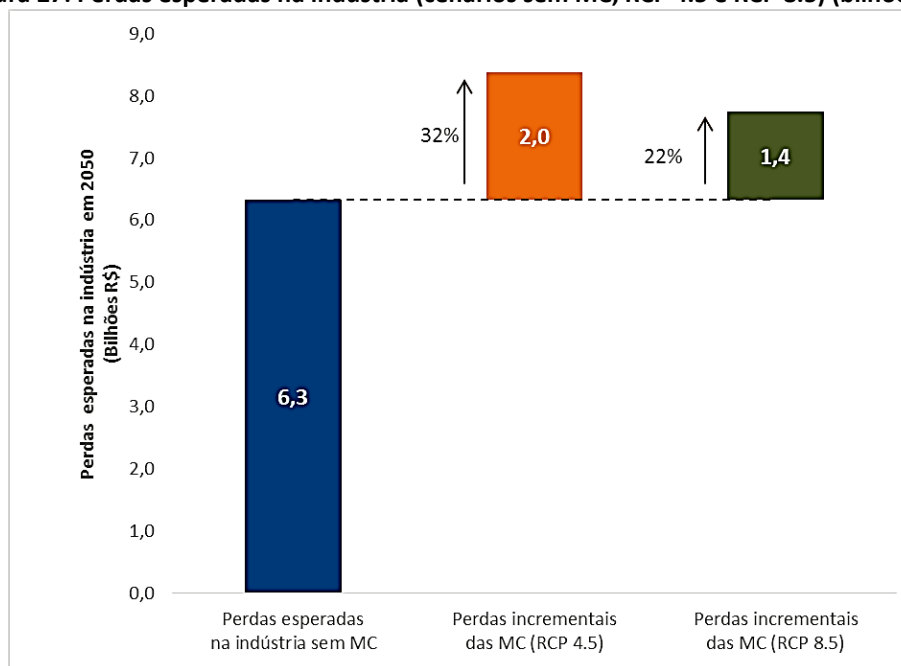


Figura 27: Perdas esperadas na indústria (cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5) (bilhões R\$)



7.3 MAGNITUDE DA PERDA NOS USOS RURAIS

Quanto às perdas associadas ao suprimento da demanda nos usos rurais, para fins de valoração, eles foram divididos em dois grupos distintos: dessedentação animal e irrigação. Em ambos os casos o valor das perdas é estimado pela produção interrompida devido à falta de água por um determinado período suficiente para tal. Ou seja, novamente utiliza-se o valor da produção via VAB agropecuário como limitador da perda.

7.3.1 Dessedentação animal

Os custos para os usos rurais de dessedentação de animais foram calculados a partir dos seguintes pressupostos:

- Descontada a parcela de captação subterrânea, há uma correlação direta entre o valor da produção animal em mil reais e sua demanda por água. Independente se o valor da produção está correlacionado ao abate, ordenha ou outros usos do animal, como produção de ovos e lã, pressupõe-se que o animal esteja vivo em primeiro lugar.
- Consequentemente, a magnitude do déficit e sua duração se sobrepõem na pressão sobre os criadores de animais em dessedentá-los.

Assim, assumiu-se que, caso o déficit permaneça por mais do que 6 meses, considera-se comprometido o rendimento esperado naquele determinado ano com a venda dos produtos animais, sejam eles ovos, leite ou carne.

Reforça-se que a alocação de custos é conservadora, uma vez que o valor contabilizado com o custo é equivalente ao valor da produção de um ano. Isso significa que o produtor continuaria com os animais como ativo, por mais que não estivessem produzindo. No caso, entende-se, por exemplo, que os custos com a encomenda de caminhões-pipa ou outra forma de dessedentação

dos animais sacrifiquem os rendimentos daquele ano. Em suma, abstraiu-se as diversas possibilidades que cada produtor rural terá para se demonstrar, de acordo com o propósito do estudo, uma ordem de grandeza das perdas econômicas que os riscos climáticos analisados – acrescidos pelas mudanças climáticas – imporão.

7.3.2 Irrigação

Os custos para os usos de irrigação foram estimados a partir dos seguintes pressupostos:

- Descontada a parcela de captação subterrânea, há uma correlação direta entre o valor da produção das culturas irrigadas em mil reais e sua demanda por água - notadamente quando o período de irrigação é justamente o período em que os cultivares necessitam da água.
- Consequentemente, a magnitude do déficit e sua duração se sobrepõem na pressão.

Assim, assumiu-se que, caso o déficit permaneça por mais do que 3 meses, considera-se comprometido o rendimento esperado naquele determinado ano com as culturas irrigadas.

O período acima foi escolhido devido ao fato que o rendimento das culturas irrigadas de maior expressão na bacia do PCJ é especialmente sensível à irrigação no período crítico do ano. Trata-se de uma simplificação da realidade, uma vez que o comportamento do produtor rural - desde que devidamente informado da estiagem e seu crescente risco - seja de adaptação e plantio de culturas de sequeiro. Quanto maior o risco da estiagem, mais racional passa a ser a decisão em investir em adaptação, seja via formas mais eficientes de irrigação, no plantio de culturas de sequeiro ou ainda no aumento em sua capacidade individual de reservação. Outras ações incluem ainda a contratação de seguro contra a quebra de safra ou ainda o arrendamento das terras (se próprias) para outros operadores.

Resultados

O cálculo de ambos os custos rurais foi realizado por município, partindo da quantidade deficitária de água e do tempo em que esse déficit persistiu em cada município para cada uso rural.

O risco climático atual embute uma chance de se perder 8,2% do VAB agropecuário durante o ano de 2050. Com as mudanças climáticas em ambos os cenários de emissões (RCP 4.5 e 8.5), essa percentagem sobe para 8,5%, representando um acréscimo de risco financeiro de R\$ 6,2 milhões.

O valor acima representa um montante bastante inferior aquele sob risco na indústria por uma combinação de dois fatores: o primeiro sendo a preferência no abastecimento de dessedentação de animais sobre outros usos, exceto o consumo humano; e o outro sendo a maior expressão das atividades industriais no valor econômico produzido na bacia. Em outras bacias, de características preponderantemente rurais - notadamente naquelas com a primazia da agricultura familiar - a valoração indicaria resultados opostos à indústria em termos de importância.

Figura 28: Perdas no setor rural por município da Bacia PCJ nos cenários SMC, RCP 4.5 e RCP 8.5 (mil R\$)

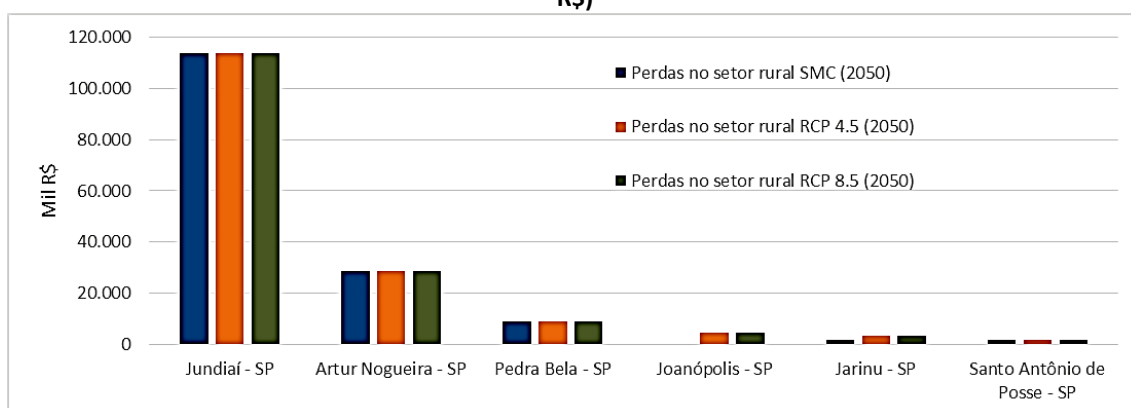
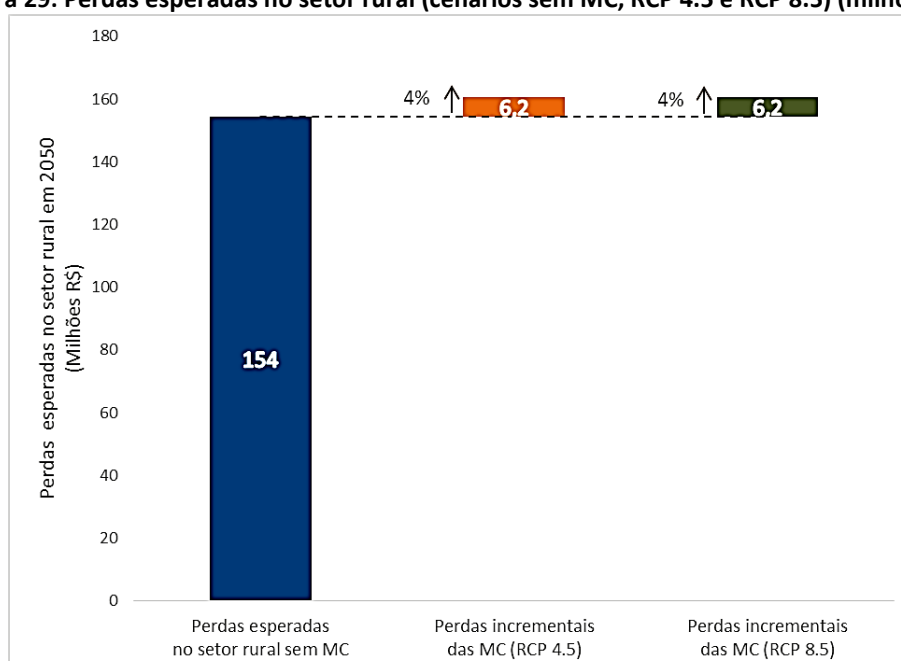


Figura 29: Perdas esperadas no setor rural (cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5) (milhões R\$)



7.4 MAGNITUDE DA PERDA PELO IMPACTO NA QUALIDADE DA ÁGUA

Como os resultados da primeira pergunta demonstraram, também houve impactos na qualidade da água na bacia. A redução na quantidade de água devido às mudanças climáticas resultará em uma maior concentração de efluentes, haja vista que um volume menor de água diluirá a mesma ou potencialmente uma maior quantidade destes.

Lógica

Os efeitos econômicos da perda de qualidade se fazem sentir por meio dos acréscimos nos custos de tratamento da água captada para distribuição. Da mesma forma, há concomitante aumento dos custos para o tratamento dos efluentes que, devido à necessidade de se atenderem parâmetros de lançamento no corpo receptor, deverão ser mais restritos.

Embora a relação físico-econômica seja de certa forma bastante direta, sua mensuração não é evidente. Uma das formas de contabilizar a piora na qualidade é via sólidos suspensos. Essa quantidade de sedimentos impacta diretamente a turbidez, que é um dos principais parâmetros de qualidade da água distribuída pelas companhias de saneamento. Para reduzir os sólidos suspensos, é necessário adicionar coagulantes como cal hidratada e cloreto férrico para catalisar seu processo de decantação. Ambos os elementos possuem preços de mercado e uma relação entre a quantidade aplicada para cada nível de turbidez, podendo-se assim estabelecer uma relação entre qualidade e custo de tratamento. Não obstante a simplicidade na relação, a modelagem dos sólidos suspensos requer um modelo de sedimentação na bacia, infelizmente não disponível.

A relação menos direta, porém modelável via SSD PCJq (ver seção 6.2.6) é em função das concentrações de DBO - demanda bioquímica de oxigênio e OD - oxigênio dissolvido.

Os pressupostos adotados na aplicação para a estimativa de perdas causados pela piora na qualidade da água por meio desses parâmetros são os seguintes:

- Parte-se da linha de base de qualidade atual dos rios, usando como parâmetro as classes de enquadramento dos corpos d'água, baseadas na Resolução CONAMA nº 357 de 2005²⁷.
- Para se enquadrar os rios de acordo com as frequências de DBO encontradas na modelagem hídrica, considerou-se uma permanência de 80%, sendo que as concentrações utilizadas foram de até 3 mg/litro para classe I, até 5 mg/l para classe II, até 10 mg/l para classe III e classe IV para concentrações superiores à 10 mg/l.
- A classificação dos rios pelo enquadramento não leva em conta aquele desejado, ou seja, não se julga o enquadramento do rio de acordo com o previsto no seu plano ou mesmo em relação à uma condição tida como ideal.
- A deterioração da qualidade das águas na bacia, que está sob alta demanda, afeta municípios a jusante que a utilizam para captação para abastecimento.
- A redução da qualidade da água de um rio, pode fazê-lo passar da classe atual (seja ela qual for) para uma classe inferior, ou seja, com maior carga de efluentes, de acordo com os critérios das classes.
- Entende-se que as companhias de saneamento operam atualmente suas ETAs e ETEs de acordo com as classes atuais dos corpos d'água na bacia. A captação de água de pior qualidade em 2050 afetará diretamente os custos de tratamento da mesma, isso sem contar eventuais limitações ao abastecimento. Assim, quando um rio muda da classe atual para uma classe inferior, há necessidade de se aumentarem os custos operacionais de acordo com a mudança no enquadramento.
- Como exemplo, vislumbra-se que um rio de classe I passe, sob o efeito das mudanças climáticas, à classe II. Isso demanda maiores custos de tratamento para os municípios à jusante, que captam a água em pior qualidade.

Logo, a estimativa é baseada no aumento de custos de tratamento de água necessários para manter o corpo d'água na sua classe atual, classe essa que reflete os atuais custos de tratamento. As perdas esperadas são, portanto, calculadas a partir do cenário sem MC como *baseline* (custo zero), sobre o qual são calculadas as perdas incrementais das MC.

As despesas operacionais atuais das companhias de saneamento atuantes na bacia foram obtidas junto ao SNIS (SNIS, 2014) sob a forma do indicador de despesas de exploração, em reais por ano, para cada um dos municípios da bacia do PCJ. Pressupõe-se, como elencado acima, que

²⁷ Disponível em www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459

as despesas atuais reflitam a operação de abastecimento a partir da qualidade atual do corpo hídrico.

Já para os custos adicionais na provisão dos serviços de saneamento pelas companhias atuantes na Bacia do PCJ devido à piora na qualidade, foram considerados os parâmetros estipulados por BRITES (2010) oriundos de estudo comparativo de bibliografia nacional e internacional de abrangência.

Os parâmetros utilizados de acréscimo aos custos atuais foram:

- 60% quando da mudança da classe I para II;
- 210% quando da mudança da classe I para III;
- 361% quando da mudança da classe I para IV;
- 38% quando da mudança da classe II para III;
- 86% quando da mudança da classe II para IV; e
- 146% quando da mudança da classe III para IV.

Resultados

Essa categoria de custos não se mostra muito expressiva em valor frente às modificações de vazão decorrentes das MC. No cenário RCP 4.5, cinco municípios sofrem alterações nos enquadramentos de seus rios, os obrigando a aumentar suas despesas operacionais. Todas essas mudanças ocorrem da classe II para a classe III e acarretam, em conjunto, um montante de R\$ 27 milhões no ano de 2050. Esse valor representa um acréscimo de 1,6% às despesas operacionais também no ano de 2050.

Já no cenário de emissões RCP 8.5, apenas dois municípios têm seu enquadramento alterado, também da classe II para a III. A diferença financeira dessa deterioração monta em R\$ 22,8 milhões no ano de 2050, ou seja, um acréscimo de 1,36% nas despesas daquele ano com os serviços de saneamento.

Figura 30: Perdas com qualidade por município da Bacia PCJ nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (mil R\$)

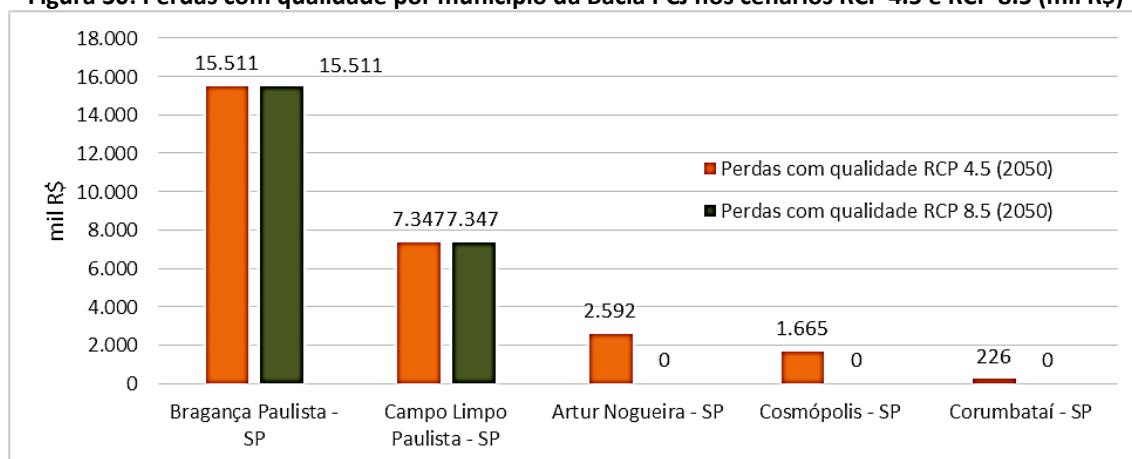
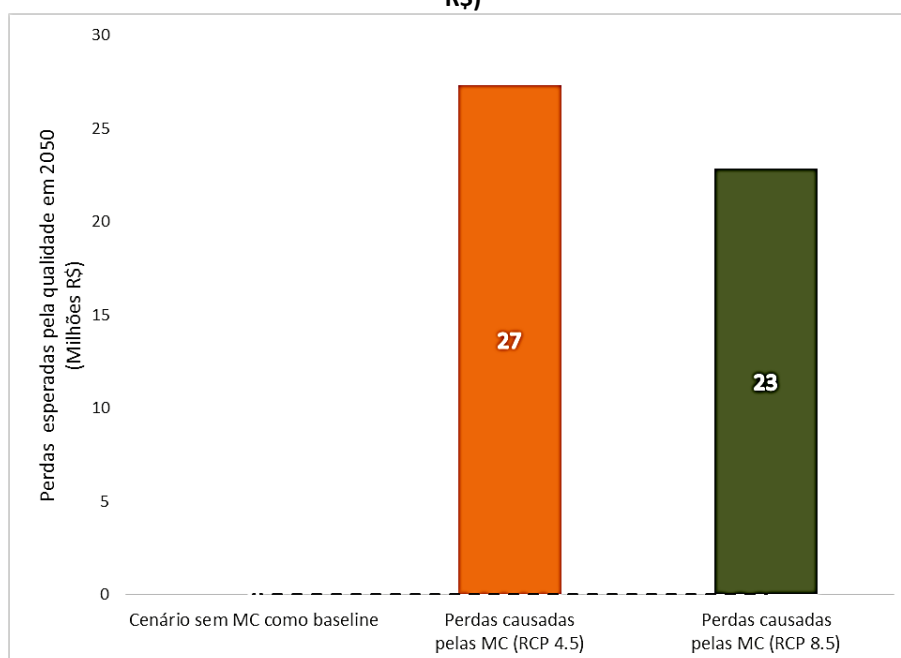


Figura 31: Perdas esperadas com qualidade da água nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 de MC (milhões R\$)



Quadro 7: Valoração das perdas no setor elétrico

Um exemplo de categoria de uso de recursos hídricos não abordada neste estudo é relativo ao aproveitamento energético que ocorre na bacia. Devido à priorização de usos, em períodos de baixas vazões, usinas hidrelétricas podem ser obrigadas a parar sua atividade, já que necessitam de uma vazão mínima para operarem, notadamente aquelas no PCJ que não detém reservatórios suficientes para controlar a vazão, ou seja, são usinas a fio d'água.

A valoração das perdas, neste caso, pode se dar, por exemplo, pela quantidade de energia que estaria sendo produzida à época (efeito sazonal) pelo valor do MW/h de mercado, representando a perda financeira da não-geração. Caso haja sistemas produtivos dependentes somente dessas usinas, é possível valorar a perda da produção ou o custo de reposição desta energia por outras fontes, como a maior demanda sobre o Sistema Interligado Nacional, por exemplo.

Quadro 8: Valoração dos serviços ecossistêmicos

Outra categoria de uso significativamente afetada pela redução na quantidade e também pela deterioração na qualidade de água é pertinente aos serviços ecossistêmicos. Após os usos para abastecimento, industrial e agrícola, a redução nas vazões afeta a possibilidade de se manterem saudáveis os habitats para as espécies de peixes e de aves aquáticas, bem como coloca em risco a integridade do sistema aquático a jusante. A recarga de aquíferos é também prejudicada. Embora tais efeitos se façam nítidos do ponto de vista físico, suas valorações pecuniárias não encontram parâmetros de mercado. Demandam, assim, outras técnicas de valoração.

7.5 MAGNITUDE DA PERDA TOTAL

O cenário de emissões RCP 4.5 apresenta, no agregado das perdas das quatro categorias de usos, um risco climático de 2,8% do PIB da bacia do PCJ no ano de 2050. Esse montante é de R\$ 9,36 bilhões. A maior parte desse valor é incorrido pela indústria, uma vez que é a mais expressiva em termos de demanda hídrica, além de ser aquela que mais gera valor e que detém a menor prioridade de abastecimento. Não obstante essa preponderância industrial, todas as categorias

de custo valoradas apresentam perdas quando da imposição do cenário de clima futuro incorporando as mudanças climáticas.

O cenário de emissões RCP 8.5 apresenta um risco climático menor do que o RCP 4.5, equivalente a 2,5% do PIB do PCJ de 2050. O montante, de significativos R\$ 8,48 bilhões, é também influenciado preponderantemente pela indústria.

As distribuições das perdas não são apenas heterogêneas quanto aos tipos de uso mas também quanto à sua distribuição espacial na bacia do PCJ. Como identificável pelos gráficos anteriores, alguns municípios sofrerão no ano de 2050, perdas muito significativas enquanto outros não.

Figura 32: Perdas absolutas e percentuais por setor nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5 (milhões R\$)

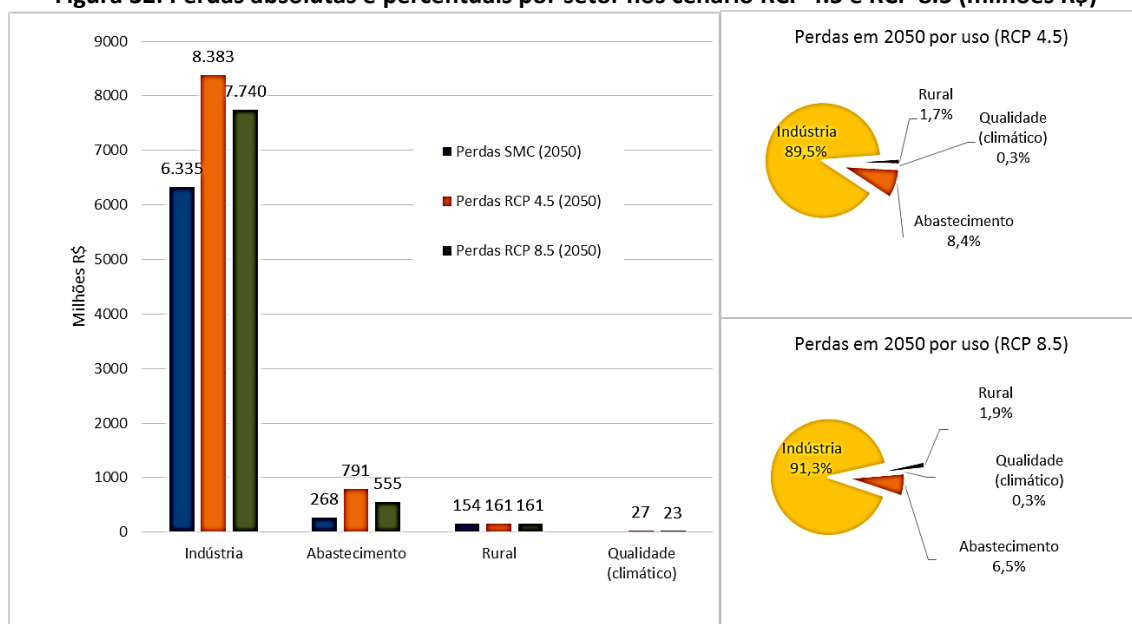
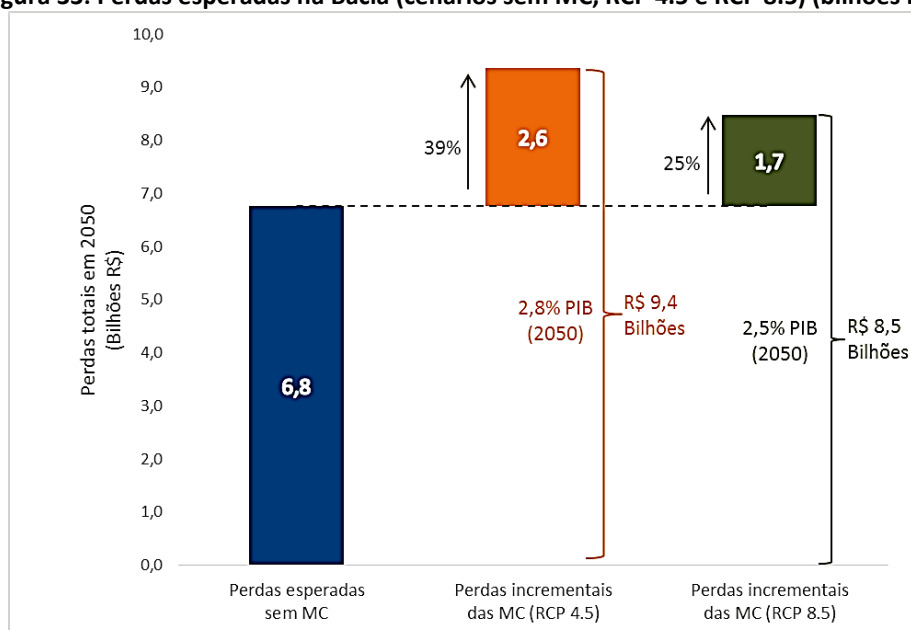


Figura 33: Perdas esperadas na Bacia (cenários sem MC, RCP 4.5 e RCP 8.5) (bilhões R\$)



8 APLICAÇÃO - PERGUNTA 3: COMO RESPONDER? MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO

Uma vez respondidas as duas primeiras perguntas da metodologia, que definem o risco e a magnitude da perda esperada para um determinado escopo, o próximo passo é desenvolver e verificar alternativas viáveis para responder a esse risco. Nesse sentido, as medidas de adaptação aparecem como resposta aos riscos e perdas resultantes das MC. É válido ressaltar que o custo das medidas e a perda esperada evitada (benefício) decorrente de sua implementação são analisadas nesse passo.

O escopo de análise nesse caso é a Bacia do PCJ e o risco de déficit hídrico decorrente das mudanças no padrão de precipitação e, portanto de vazão. Sendo assim, as medidas de adaptação aqui levantadas foram pensadas para mitigar as perdas decorrentes da falta de água para abastecimento urbano, industrial e irrigação. Algumas medidas também dizem respeito a qualidade da água, uma vez que o déficit hídrico indiretamente, afeta esse fator. Sendo assim, por mais que as medidas apresentadas nesse capítulo estejam relacionadas ao déficit hídrico, co-benefícios relativos a outros riscos também são comentados.

O presente capítulo apresenta as medidas adaptativas que foram levantadas como resposta ao risco das MC, no caso, déficit hídrico. Primeiramente é descrito o processo de seleção de medidas analisadas nesse estudo (a partir da oficina com ANA e MMA), e as respectivas justificativas para essas escolhas. Posteriormente as medidas adaptativas selecionadas são resumidamente apresentadas. Algumas medidas consideradas relevantes, mas não abordadas na análise custo-benefício, são consideradas de maneira qualitativa devido sua relevância. Por fim, o capítulo apresenta uma seção que descreve resumidamente as considerações e cálculos feitos para levantamento dos custos das medidas e por fim dos benefícios.

A fim de evitar uma seção muito extensa, optou-se por disponibilizar a descrição detalhada de cada uma das medidas (analisadas na ACB e consideradas qualitativamente) no anexo 2. No anexo as medidas são detalhadas na seguinte estrutura: objetivo da medida, descrição geral da medida, aplicação no estudo, influência da medida na vazão (ou qualidade) da bacia e descrição e cálculos do custo de implementação da medida, seguida de um resumo de seus impactos físicos na bacia através de gráficos e finalmente os resultados da análise custo-benefício de cada uma.

8.1 DEFINIÇÃO DE MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO POSSÍVEIS

Aplicação no presente estudo

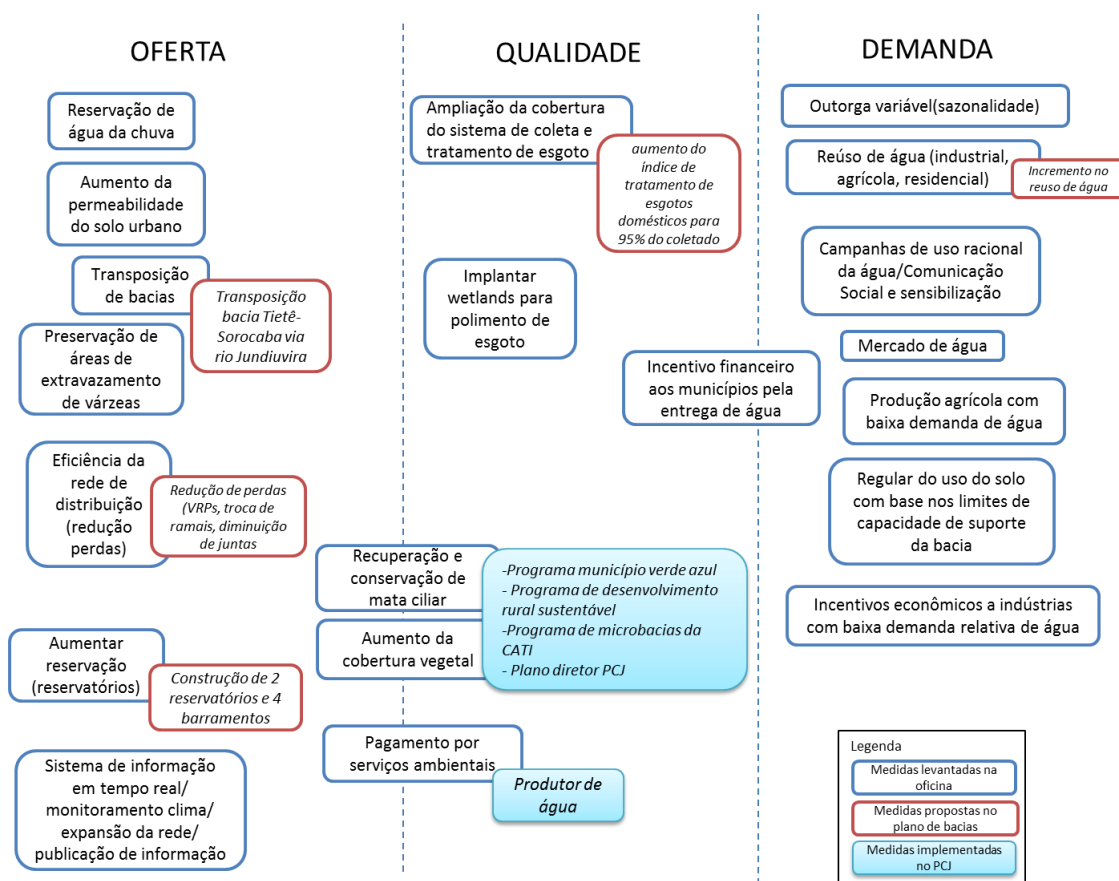
Em se tratando de um estudo de aplicação didática num espaço curto de tempo e não de um processo para tomada de decisão que requer idealmente que todos os passos citados na seção 5.3 sejam contemplados, foram adotadas algumas simplificações necessárias no processo. Assumiu-se, por exemplo, a premissa de que haveria períodos de déficit hídrico no futuro com MC antes da conclusão da análise de dados dos padrões de vazão na bacia, assim como contou-se somente com a participação dos envolvidos diretamente no estudo (representantes da ANA e MMA) no levantamento inicial das medidas em formato de oficina de trabalho (anexo 3).

Oficina de trabalho: levantamento de medidas

Foram buscadas, entre outros, na literatura e no Programa para Efetivação do Enquadramento das Bacias do PCJ (COBRAPE, 2014) medidas adaptativas já existentes ou propostas que

encaminhassem os riscos tratados. Essas medidas foram divididas em diferentes categorias, por exemplo entre “hard” (medidas essencialmente de infraestrutura) e “soft” (por exemplo, incentivos econômicos e conscientização), e então levadas para uma oficina de trabalho junto aos membros do MMA e ANA envolvidos no estudo. Na oficina, os presentes foram convidados a refletir sobre os riscos e as medidas expostas e então propor medidas para a aplicação, as quais puderam ser reagrupadas de acordo com suas características como na Figura 34. O relato completo da oficina faz parte desse relatório no anexo 3.

Figura 34: Medidas adaptativas levantadas durante a oficina



Seleção de medidas finais

Depois do levantamento das medidas de adaptação da oficina, as medidas foram analisadas, selecionadas e em alguns casos mescladas e renomeadas com base no objetivo do estudo, escopo determinado e critérios como factibilidade, aplicabilidade no estudo, disponibilidade de dados, entre outros.

O primeiro critério para seleção das medidas adaptativas a serem analisadas na aplicação foi o risco da MC considerado (ver seção 6.2), nesse caso o déficit hídrico e qualidade da água, portanto as medidas que não eram diretamente relacionadas a esses temas foram retiradas da análise, como aquelas relacionadas a mitigação e controle de inundações²⁸.

²⁸ Por exemplo, aumento da permeabilidade do solo urbano, preservação de áreas de extravasamento de várzea

A disponibilidade de dados relacionados ao impacto da medida na quantidade/qualidade de água e a possibilidade de valoração dos seus benefícios também foi um critério determinante para a escolha das medidas analisadas. Para analisar a medida “reuso de água industrial”, por exemplo, idealmente dados relativos ao processo produtivo de diferentes segmentos industriais teriam de ser levantados e alternativas para o uso de água dentro de cada um desses processos analisadas, inviabilizando sua consideração quantitativa neste estudo. No entanto a medida foi descrita e explorada qualitativamente. Por fim, medidas levantadas que não tivessem impactos diretos nos riscos analisados²⁹ também não podem ser objeto de uma análise quantitativa objetiva.

Muitas das medidas levantadas, mesmo não sendo analisadas no âmbito da ACB nesse estudo são discutidas quanto a sua relevância e impacto.

8.2 MEDIDAS ANALISADAS

A partir da aplicação dos critérios acima foram definidas as medidas de adaptação avaliadas sob o escopo da ACB. A tabela abaixo apresenta as medidas avaliadas no âmbito da ACB assim como uma breve descrição de cada uma delas. A descrição completa de cada uma das medidas pode ser consultada no anexo 2³⁰.

Algumas medidas consideradas relevantes, mas não abordadas na análise custo-benefício, são analisadas de maneira qualitativa devido sua relevância, igualmente no anexo 2. São elas:

- Outras alternativas para irrigação
- Adoção de práticas conservacionistas
- Campanhas de conscientização
- Adoção de tecnologias de reúso de água industrial
- Medidas na indústria não relacionadas ao processo produtivo

O anexo 2 traz todas as medidas detalhadas destacando seu objetivo, uma descrição geral, sua aplicação no estudo, influência na vazão (ou qualidade) na bacia, descrição e cálculos dos custos de implementação, seguido de um resumo de seus impactos físicos na bacia através de gráficos e finalmente os resultados da análise custo-benefício de cada uma.

²⁹ Por exemplo, monitoramento do clima.

³⁰ Nesse anexo também são discutidas ferramentas econômicas, de gestão e tecnologias que podem funcionar como alternativas as medidas adaptativas analisadas. Esses temas são apresentados em quadros no anexo.

Tabela 2: Medidas adaptativas avaliadas no âmbito da ACB

(A) Construção de barragens e adutoras	O objetivo dessa medida é aumentar a capacidade de reservação de água no sistema e portanto, assegurar o atendimento da demanda hídrica para os diferentes usos principalmente em período de estiagem. Neste estudo foram considerados dentro da ACB dois projetos de reservação previstos para a bacia do PCJ: os reservatórios de Duas Pontes no rio Camanducaia e Pedreira no rio Jaguari.
(B) Transposição de bacias	A transposição de água entre bacias hidrográficas pode ser definida como: “a remoção de água de um sistema de maior superfície drenada para um sistema onde a superfície drenada é menor” (Carvalho, 2005). O objetivo da transposição é suprir as necessidades relacionadas à a escassez hídrica ou aumentar a resiliência da bacia receptora. Para esse estudo, foi adotada como referência a transposição do Jaquari-Atibainha, como previsto no Plano de Bacias PCJ (Carvalho, 2005). Sendo assim, foram elaborados alguns cenários com diferentes possibilidades de vazões transferidas através da transposição com o seu respectivo custo associado.
(C) Aumento de eficiência da rede de distribuição	O Índice de Perdas na Distribuição (IPD) é o parâmetro mais utilizado para avaliar as perdas no sistema de distribuição de água. No caso da Bacia do PCJ esse número é em média de 37% (COBRAPE, 2013). Sendo assim, nesse estudo será analisada a influência da redução do IDP dos municípios para (pelo menos) 20% como meta, tendo como base estudos prévios para a bacia.
(D) Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto	O objetivo dessa medida é aumentar a qualidade da água com a ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto. A análise nesse caso foi feita com base nas informações contidas no Programa de efetivação de enquadramento da Bacia PCJ (COBRAPE, 2014) no que tange aos investimentos e projeções para ampliação do sistema de coleta e tratamento de efluentes nos municípios da região aumentando os índices de coleta, de tratamento e de remoção de DBO por município.
(E) Reúso de águas cinzas em residências	As águas cinzas são aquelas residuárias, originárias de chuveiros, lavatórios, máquinas e tanques de lavar roupa. A medida visa sua reutilização, reduzindo, assim a demanda de água de abastecimento. Para esse estudo, a ACB foi feita com base no uso de águas cinzas para suprir a demanda de água para o vaso sanitário em residências já existentes na região e na totalidade das novas residências em um cenário futuro.
(F) Aproveitamento residencial de água de chuva	A coleta de água e reservação de água de chuva em residências para fins não potáveis é uma alternativa para diminuir a demanda por água da Bacia. A análise nesse caso foi baseada na instalação de sistemas de captação de chuva dimensionado para casas populares já existentes na região da Bacia e para a totalidade das novas casas em um cenário futuro, com capacidade suficiente para atender a demanda de água para o vaso sanitário durante 6 meses no ano.
(G) Incentivos econômicos para o uso racional de água	O incentivo econômico analisado nesse estudo foi o desconto no valor da conta de água como medida indutora de redução de consumo. Baseado na campanha da Sabesp, Guardiã das Águas de 2014, que prevê um desconto de 30% na tarifa mensal dos serviços para aqueles usuários que reduzirem 20% de consumo de água no mês em relação à média dos últimos 12 meses (Sabesp, 2014), a medida foi aplicada para parte da população (já que é voluntária) durante 6 meses do ano no período avaliado.
(H) Aumento da tarifa de água	O objetivo dessa medida é induzir a redução da demanda de água residencial através do aumento da tarifa pelas empresas de saneamento. No estudo, com base na análise de valores de elasticidade-preço estimados no Brasil e em outros países do mundo em relação à demanda por água para consumo doméstico, foi adotado um incremento no valor atual da tarifa e calculada a redução de consumo proporcional causada.
(I) Aumento do valor da outorga para indústria	A análise dessa medida está baseada na cobrança pela água via outorga para o setor industrial que já ocorre na Bacia PCJ desde 2006 e é realizada como uma compensação a ser paga pelos usuários de recursos hídricos visando à garantia dos padrões de quantidade, qualidade e regime estabelecidos para corpos d'água das bacias. Adotando um aumento no valor da outorga atual para o setor industrial estima-se a redução no consumo de água em cada setor industrial considerado a partir de elasticidades-preço específicas destes setores encontrados em estudos brasileiros.
(J) Eficiência no uso de técnicas de irrigação	O objetivo dessa medida é reduzir a demanda de água para irrigação por meio da otimização da eficiência de uso de água para irrigação de lavouras temporárias e permanentes. No presente estudo foi analisada a migração do método de média eficiência predominante na bacia – aspersão convencional – para um método de alta eficiência – irrigação localizada. A medida é aplicada, considerando-se o perfil das culturas da região e a compatibilidade com as tecnologias.

Legenda de cores

Medidas que afetam oferta	Medidas que afetam qualidade	Medidas que afetam a demanda
---------------------------	------------------------------	------------------------------

Além da análise individual de cada uma das medidas listadas acima, a aplicação de algumas medidas simultaneamente também foi simulada e analisada. As chamadas “combinações” são apresentadas na tabela abaixo. O objetivo nesse caso foi identificar os custos e benefícios da combinação de medidas que atingissem escopos (demanda, oferta e qualidade) diferentes.

Tabela 3: Combinações de medidas adaptativas analisadas segundo ACB

A+I	(A) Construção de barragens e adutoras	+ (I) Aumento do valor da outorga para indústria
C+D	(C) Aumento de eficiência da rede de distribuição	+ (D) Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto
D+F	(D) Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto	+ (F) Aproveitamento residencial de água de chuva

Os resultados da análise de custo-benefício das medidas apresentadas são descritos e analisados na seção 9, assim como no Anexo 2.

Comentários gerais

- **Gestão da oferta e infraestrutura:** observa-se que as medidas que dizem respeito à gestão da oferta correspondem exatamente àquelas mais infraestruturais (também classificadas como “*hard measures*”): construção de barragens e adutoras, transposição de bacias e aumento da eficiência da rede de distribuição. Uma exceção deste grupo é a adoção de práticas conservacionistas na bacia, a qual consiste em práticas vegetativas e mecânicas e não de infraestrutura, tendo impacto direto na oferta de água influenciando as vazões naturais (não quantificada na presente análise). A única medida analisada na ACB voltada essencialmente à melhoria na qualidade da água é a universalização da coleta e tratamento de esgoto, também infraestrutural.
- **Tecnologias nas residências:** as outras medidas visam a gestão da demanda de água³¹. Esse grupo tem influência no consumo de água residencial através da adoção de tecnologias nas residências, como reuso de águas cinzas e uso de águas pluviais.
- **Mecanismos econômicos:** outro grupo de medidas está relacionado à influência na demanda de água através da adoção de mecanismos econômicos, seja através de incentivos para a redução do consumo, seja via aumento da tarifa.
- **Irrigação:** finalmente, relacionado ao uso da água na irrigação foi considerada na ACB a adoção de tecnologias eficientes, sendo a substituição total de culturas irrigadas só tratada como suposição.

8.3 CÁLCULO DOS CUSTOS DE IMPLEMENTAÇÃO DAS MEDIDAS ADAPTATIVAS

Uma vez definidas e caracterizadas as medidas a serem consideradas, é preciso calcular seus custos de implementação, os quais comporão a razão custo/benefício de cada medida.

Como abordado na seção 6.2.2, o horizonte temporal considerado tem forte influência no cálculo de custos de implementação das medidas. Na aplicação, algumas premissas foram adotadas:

³¹ É possível ter outras leituras dessa classificação, dependendo do ponto de vista.

- Em se tratando de uma aplicação para tomada de decisão hoje, considera-se que as medidas serão aplicadas a partir do próximo período, ou seja, a partir de 2015. O benefício, não obstante, continua mensurado no futuro.
- Os custos de implementação consideram taxas de implementação realistas, a partir do presente. Por exemplo, a redução do índice de perdas da rede (IPD) é gradual e a aplicação dos gastos para tanto é igualmente gradual até o atingimento da meta final.
- A depender das características das medidas, foi considerado o custo de implementação (por exemplo o custo de construção de uma barragem) ou o custo de operação da mesma (por exemplo, incentivos econômicos para redução de consumo).
- Não são calculados custos (nem benefícios) da medida após o horizonte considerado, embora possam existir.
- Sobre os fluxos financeiros que expressam a maturação dos custos de implementação das medidas ao longo do horizonte de 35 anos é aplicada uma taxa de desconto. Com isso calcula-se o VPL (valor presente líquido) das medidas, ou seja, uma expressão de seus valores hoje, muito embora ocorram ao longo do tempo.
- A taxa de desconto adotada é de 2,78% (ver argumentação no quadro abaixo) Esse valor corresponde ao crescimento real do PIB mineiro e paulista, ponderados pela sua participação relativa no PIB do PCJ, ao longo da última década (2000-2010). A taxa de crescimento real do Brasil ao longo da última década (2000-2010) foi de 3,6% ao ano.
- O detalhamento de cada um dos custos de cada uma das medidas é mostrado no anexo 2.

As fontes de informação para a estimativa dos custos medidas foram diversas, também explicitadas no anexo pertinente:

- Muitas informações para as medidas infra estruturais foram obtidas de planos e projetos previstos, em especial o Programa de enquadramento da Bacia PCJ (COBRAPE, 2014).
- Já as estimativas para as medidas de reúso de água e captação residenciais foram montadas a partir da compilação de preços de mercado e dados médios, sempre conservadores. Sua implantação também contou com adoção de taxas de adesão graduais e conservadoras.
- Os custos das medidas de controle da demanda via mercado se basearam no valor adicional pago, seja pela companhia de abastecimento, seja pelo usuário, seja pelas indústrias, refletindo assim valores societários da mesma.

Quadro 9: Taxa de desconto

A taxa de desconto é aquela que traz um fluxo de valores monetários futuros (sejam custos ou benefícios) a um "valor presente". Ou seja, é a taxa utilizada para calcular o valor presente líquido (VPL). Uma vez trazido a valor presente, tal fluxo se torna comparável a qualquer outra escolha monetária possível no presente. O que a taxa de desconto representa, assim, é uma preferência de tempo demonstrado quando se compara algo hoje contra a mesma coisa amanhã. Segundo a teoria econômica, agentes racionais jamais trocariam algo hoje por esse mesmo algo amanhã. Enquanto essa regra se aplica com perfeição para bens de consumo, o mesmo não pode ser inferido como verdade absoluta quando se trata da natureza e de eventos irreversíveis no futuro, tais como a perda de uma espécie, degradação de habitat e as mudanças climáticas.

Estes eventos consomem o capital futuro e/ou implicam em uma interferência na provisão de fluxos naturais - sejam eles gênicos, de chuva ou outros. Alguns argumentam que a taxa de desconto para casos de serviços da natureza e outros valores de não-uso como o valor da existência e do legado deveria ser negativa (ou seja, que o futuro deveria ser valorado como mais valioso que o presente)³².

A definição da taxa de desconto é sempre um assunto delicado quando se trata de análise custo-benefício. Como afirma (MUNDA, 1996): "infelizmente, ao longo dos anos os economistas não encontraram nenhuma taxa de desconto objetiva a ser utilizada em uma análise de custo-benefício; pelo contrário, a escolha da taxa de desconto é um dos assuntos mais controversos. (...) No entanto, é preciso ressaltar o fato de que a escolha de um horizonte de tempo e de uma taxa de desconto pode influenciar bastante os resultados de uma análise custo-benefício." (tradução livre, página 158).

Em valoração econômica de recursos naturais do delta do rio Okavango, em Botsuana, Turpie et al. (2006) consideraram a taxa média de inflação do país (à época de 6%) como taxa de desconto. BALMFORD et al. (2002) também fizeram uso de uma taxa de 6% ao descontar os benefícios futuros de propostas práticas conservacionistas para manguezais na Tailândia. Os mesmos autores, no entanto, valoraram a conservação das zonas húmidas canadenses e utilizaram uma taxa de 4%. Para a valoração de florestas tropicais na Malásia em Camarões, bem como para recifes de coral na Indonésia, os mesmos autores utilizaram a taxa de 10% dada as incertezas econômicas nos referidos países. As aparentes disparidades nas taxas de desconto sugerem que estas sejam definidas de acordo com o objeto da valoração, bem como com o horizonte temporal vislumbrado.

Em análises de custo-benefício de projetos de investimento, costuma-se utilizar a taxa de juros de referência da economia como taxa de desconto, uma vez que esta embute o custo de oportunidade do recurso sendo estudado. A taxa de juros real do Brasil foi de 8,1% ao ano ao longo da década de 2000 a 2010, em média. Eis que quando tratamos risco climático total, não se trata de um projeto onde as entradas ou saídas financeiras estão diretamente vinculadas ao caixa de uma empresa. Entende-se que a taxa de desconto implica na quantificação da difícil priorização entre o presente e o futuro.

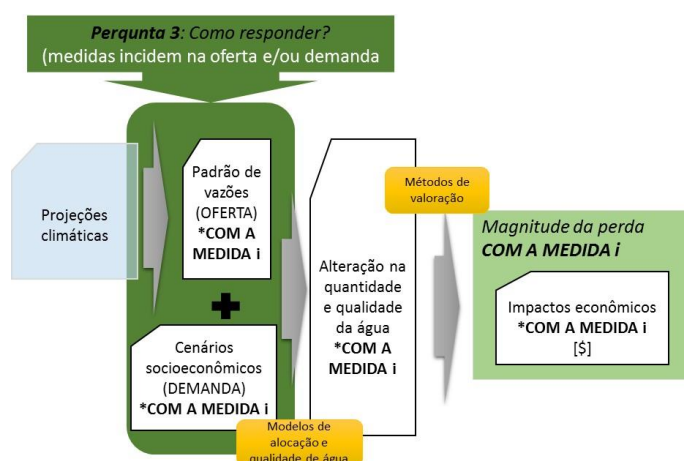
Dessa forma, o exercício de ACB em bacias hidrográficas intenta demonstrar a ordem de grandeza do risco que as mudanças climáticas trazem à sociedade do local - maior do que um projeto específico porém apenas antrópico ao considerar valores de uso direto apenas. Os benefícios da mitigação das mudanças climáticas são difusos, onde todos os usuários de água na bacia serão beneficiados. O que esta análise busca fazer é demonstrar do ponto de vista financeiro, a viabilidade de realizar investimentos conjuntos para melhorar a resiliência da bacia. Assim, é possível utilizar a prerrogativa apontada por Kahn (2005) de que para a valoração de benefícios societários, a taxa de desconto não pode ser superior à taxa de crescimento do PIB do país no longo prazo.

³² A análise de custo-benefício aqui realizada não mede o valor da natureza em si, mas sim os efeitos que os diferentes estados do clima implicarão na relação dos usuários das águas superficiais da bacia do PCJ. Em resumo: adotou-se um ponto de vista puramente antrópico e de usos-diretos. Dessa forma, descartam-se taxas de desconto nula ou negativas.

8.4 CÁLCULO DOS BENEFÍCIOS (PERDAS EVITADAS) DAS MEDIDAS ADAPTATIVAS

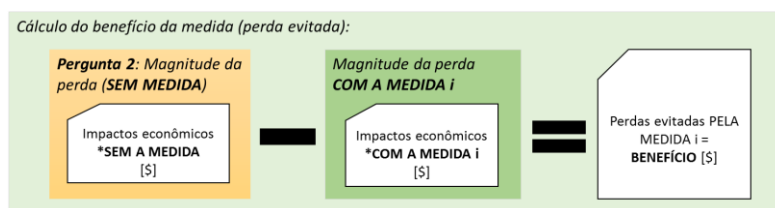
O cálculo dos benefícios trazidos pelas medidas trata das perdas evitadas pela aplicação das mesmas. Cada uma das medidas adaptativas incide essencialmente em um dos dois fatores: na vazão natural dos corpos d'água aumentando a oferta ou nos cenários futuros de demanda. Assim, foram construídos novos cenários com estes parâmetros para cada uma das medidas analisadas e, através do modelo de alocação de água (seção 6.2.6) e, por conseguinte, dos métodos de valoração já utilizados (seção 7), novas perdas foram calculadas para cada medida (Figura 35).

Figura 35: Recálculo das perdas esperadas utilizando novos parâmetros das medidas



Uma vez com as novas perdas calculadas para cada medida analisada, basta subtraí-las das perdas calculadas no cenário sem medidas (pergunta 2), sua diferença sendo a perda evitada pela medida, logo seu benefício (Figura 36).

Figura 36: Cálculo do benefício – perda evitada



Na aplicação, foram criados novos cenários para cada uma das medidas e calculado suas perdas, e seu benefício utilizando os mesmos modelos e métodos apresentados nas seções anteriores. Detalhes dos resultados físicos e da valoração para cada medida estão descritos no anexo 2.

Outros benefícios econômicos das medidas

É importante notar que as medidas podem trazer benefícios correlatos, não relacionados a perda evitada. Por exemplo, a adoção de técnicas mais eficientes de irrigação pode acarretar em maior rendimento na produção. Esses benefícios podem ser calculados, mas dentro da metodologia devem ser descontados dos custos de implementação da medida e não somados aos benefícios da mesma. A existência destes benefícios econômicos pode, por exemplo,

superar os custos de implementação (no resultado final de custo-benefício, a medida teria um valor negativo, ou seja, um custo negativo).

Na aplicação, por simplificação, não foi considerado nenhum benefício correlato das medidas, embora é sabido que existam. A escolha de levá-los em consideração passa pelos mesmos critérios da valoração como um todo.

9 APLICAÇÃO - RESULTADOS: CUSTO-BENEFÍCIO DAS MEDIDAS

As medidas adaptativas e os respectivos resultados da análise custo-benefício são apresentados nessa seção. Inicialmente, os resultados são apresentados em forma de gráficos e figuras a fim de explicitar e confrontar alguns aspectos das mesmas, como:

- Influência na demanda em relação ao cenário sem medida;
- Influência nos déficits previstos;
- Análise custo-benefício (ACB) através da razão Custo/Benefício em 2050;
- Seus benefícios (perda evitada) totais e por uso em 2050;

Embora os gráficos tragam alguns comentários, ao final, são apresentados comentários gerais analisando as medidas sob todos aspectos combinados.

Para um detalhamento de resultados de cada medida, consultar o Anexo 2: Descrição e análise das medidas adaptativas.

9.1 IMPACTOS FÍSICOS DAS MEDIDAS (DEMANDAS E DÉFICITS)

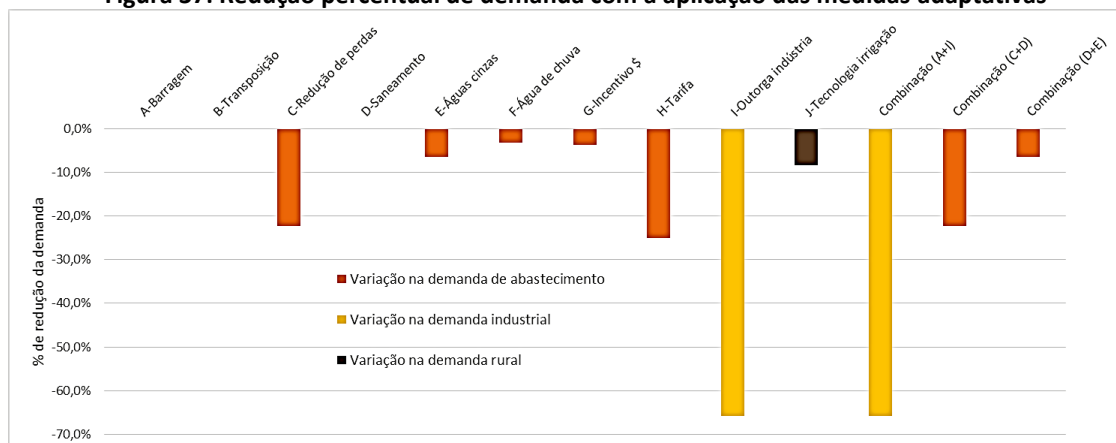
9.1.1 Impactos das medidas na redução de demanda

A Figura 37 indica o impacto que cada medida tem sobre a demanda por água em 2050. Como esperado, as medidas A- Barragem, B-Transposição e D-Saneamento não impactam a demanda por água. A medida C-Redução de perdas, apesar de caracterizada como gestão da oferta, para fins de simulação afeta a demanda de água do município, que diminui devido à redução das perdas. Tal medida apresenta uma redução da demanda maior que 20%.

Todas as outras medidas reduzem a demanda por água de abastecimento com exceção da medida I-Outorga indústria e J-Tecnologia irrigação, as quais reduzem a demanda de água industrial e rural respectivamente.

Importante observar a ordem de grandeza das reduções percentuais: medida I-Outorga indústria tem redução da demanda industrial maior que 60%, as medidas C-Redução de perdas e H-Tarifa têm reduções maiores que 20% da demanda de abastecimento, e as outras não chegam a 10%, inclusive a G-Incentivos \$ (3,7%)

Figura 37: Redução percentual de demanda com a aplicação das medidas adaptativas



9.1.2 Impactos das medidas na redução do déficit hídrico

O conjunto de figuras abaixo (Figura 38, Figura 39 e Figura 40) mostra como cada medida contribui com a redução do déficit hídrico previsto para 2050 para cada medida nos dois cenários de clima futuro. As três medidas infraestruturais (A, B, C) possuem alto impacto positivo. A medida D-Saneamento apresenta um aumento de déficit. Isso se explica pela realocação de água na bacia devido a maior coleta e tratamento de água. Com exceção da medida H-Tarifa, o impacto geral das medidas de gestão de demanda é baixo.

Com relação aos três usos, a redução de déficits afeta de maneira relativamente equilibrada cada uso, com exceção da medida I-Outorga indústria que reduz em cerca de 40% o déficit industrial, mas aumenta o rural.

Importante notar que nenhuma medida, nem combinações delas, foi capaz de reduzir mais de 60% do déficit, logo, mesmo com sua implementação haveria ainda déficits e custos residuais.

Figura 38: Variação percentual no déficit hídrico com aplicação das medidas adaptativas para os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

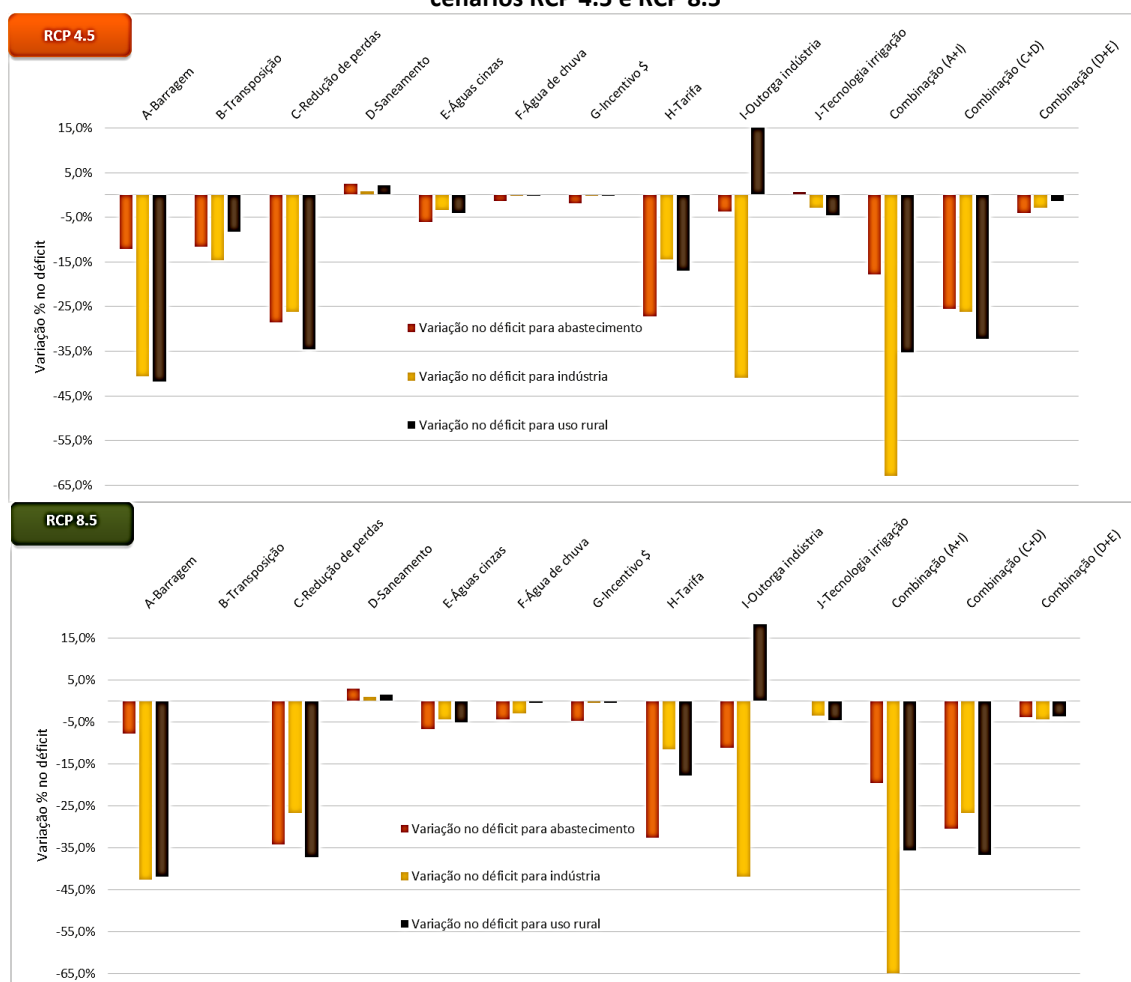


Figura 39: Redução do déficit hídrico com aplicação das principais medidas as adaptativas para o cenário RCP 4.5 em (l/s)

RCP 4.5	A-Barragem	B-Transposição	C-Redução de perdas	H-Tarifa	I-Outorga indústria	Combinação (A+I)	Combinação (C+D)	Total	
Abastecimento	353	338	835	796	108	519	745	3693	28,1%
Indústria	1006	362	650	360	1018	1560	650	5606	42,7%
Rural	946	187	782	384		798	732	3829	29,2%
Totais	2305	887	2266	1541	1126	2877	2126	Grand total: 13129	
	17,6%	6,8%	17,3%	11,7%	8,6%	21,9%	16,2%		

Figura 40: Redução do déficit hídrico com a aplicação das principais medidas para o cenário RCP 8.5 (em l/s)

RCP 8.5	A-Barragem	C-Redução de perdas	H-Tarifa	I-Outorga indústria	Combinação (A+I)	Combinação (C+D)	Totals	
Abastecimento	190	837	798	273	479	747	3324	30,3%
Indústria	866	546	236	855	1322	545	4369	39,8%
Rural	814	724	345		693	715	3292	30,0%
Totais	1870	2107	1379	1128	2494	2007	Grand total: 10985	
	17,0%	19,2%	12,6%	10,3%	22,7%	18,3%		

9.2 RAZÃO CUSTO/BENEFÍCIO DAS MEDIDAS

Uma vez calculados os custos de implementação das medidas e seus benefícios gerados em 2050, a Tabela 4 elenca, para cada cenário, as razões de Custo/Benefício (C/B) de cada medida. Existem medidas que mudam bastante a razão entre os cenários, assim as mesmas foram ordenadas do menor (melhor custo-benefício) para o maior (pior custo-benefício) de acordo com a média dos cenários. A linha verde separa as medidas que se apresentaram custo-benéficas (CB menor que 1) nos dois cenários daquelas que em pelo menos um cenário tiveram seu C/B maior que 1.

Tabela 4: Razão Custo/Benefício nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

	C/B (RCP 4.5)	C/B (RCP 8.5)
A-Construção de barragens e adutoras	0,01	0,01
I-Aumento do valor da outorga para a indústria	0,04	0,04
Combinação (A+I)	0,04	0,04
B-Transposição de bacias	0,15	NA
J-Eficiência no uso de técnicas de irrigação	0,09	0,23
Combinação (C+D)	0,43	0,62
C-Eficiência da rede de distribuição	0,47	0,72
Combinação (D+E)	0,92	0,65
F-Aproveitamento residencial de água de chuva	0,83	1,22
E-Reúso de águas cinzas em residências	1,04	1,24
G-Incentivos econômicos para uso racional da água	0,80	1,49
D-Ampliação do sist. de coleta e tratamento de esgoto	2,15	0,31
H-Aumento da tarifa de água	3,14	4,06

A medida B-Transposição não apresentou benefício no cenário 8.5 e, portanto, não tem C/B para o mesmo. Rigorosamente, a medida apresentou um C/B infinito, ou seja, só apresenta custos e nenhum benefício neste cenário. No entanto, foi mantida como a quarta colocada para fins de apresentação e comparação. Interessante notar a discrepância de resultados entre os cenários para a medida D-Saneamento, bastante vantajosa no cenário 8.5, mas pouco atrativa no 4.5.

As figuras exploram os resultados da análise econômica das medidas:

- **Figura 41: Custo/Benefício (esquerda) e Benefício total em milhões R\$ (direita) das medidas adaptativas:** elenca as medidas acima ordenadas de acordo com seus C/B (à esquerda nos dois cenários. A linha verde evidencia o CB igual a 1, com as medidas situadas abaixo sendo custo-benéficas. À direita, a figura mostra o montante total de benefício anual das mesmas (perdas evitadas) pela implementação da mesma em milhões de R\$ em 2050. Nota-se uma discrepância entre o benefício gerado pelas três primeiras com o restante.
- **Figura 42: Benefício por setor com a aplicação das medidas nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5:** permite avaliar o benefício gerado por cada medida em cada categoria de uso analisada. As medidas afetam os usos de maneira distinta, refletindo seus impactos na demanda e oferta, conforme descrito anteriormente. É importante notar que, embora todas as medidas apresentem benefícios totais positivos, quando discretizados por uso, existem muitos casos em que há um benefício negativo em determinado uso, ou seja,

causa uma perda maior naquele uso do que no cenário sem medidas. Isso é particularmente frequente no caso da qualidade da água.

- **Figura 43: Curva Custo/Benefício e Benefício total (milhões R\$) das medidas adaptativas no cenário RCP 4.5 e 8.5:** representa o resultado final da aplicação do método *Economics of Climate Adaptation*, onde as informações de CB e benefício total (perdas evitadas) das medidas são sintetizadas em um gráfico. A altura das barras representa o C/B de cada medida, sendo aquelas abaixo de 1 custo-benéficas naquele cenário. Já as larguras das barras representam o total de benefício (perda evitada) das mesmas.

Na sequência são apresentados comentários gerais sobre os resultados.

Figura 41: Custo/Benefício (esquerda) e Benefício total em milhões R\$ (direita) das medidas adaptativas

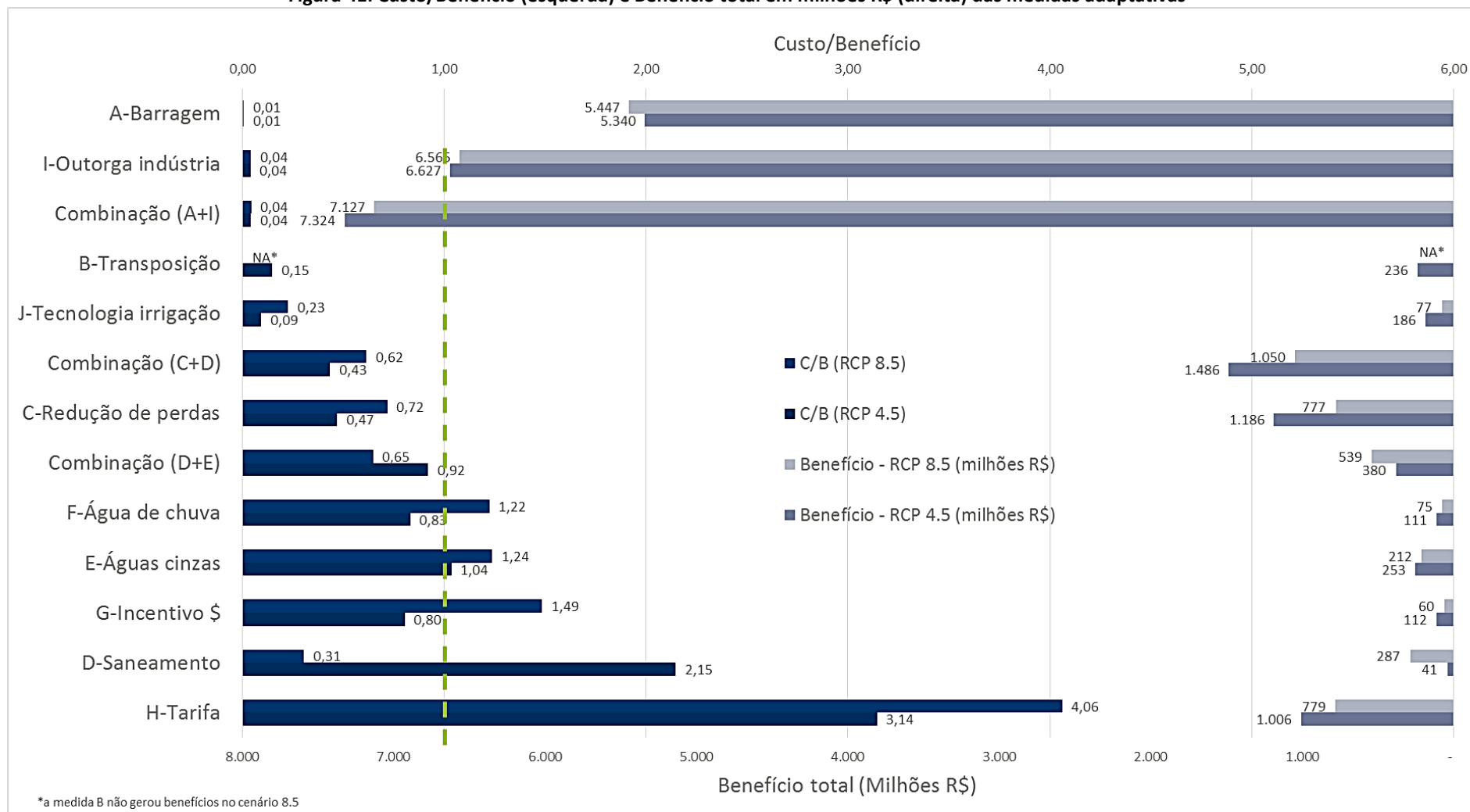


Figura 42: Benefício por setor com a aplicação das medidas nos cenários RCP 4.5 e RCP 8.5

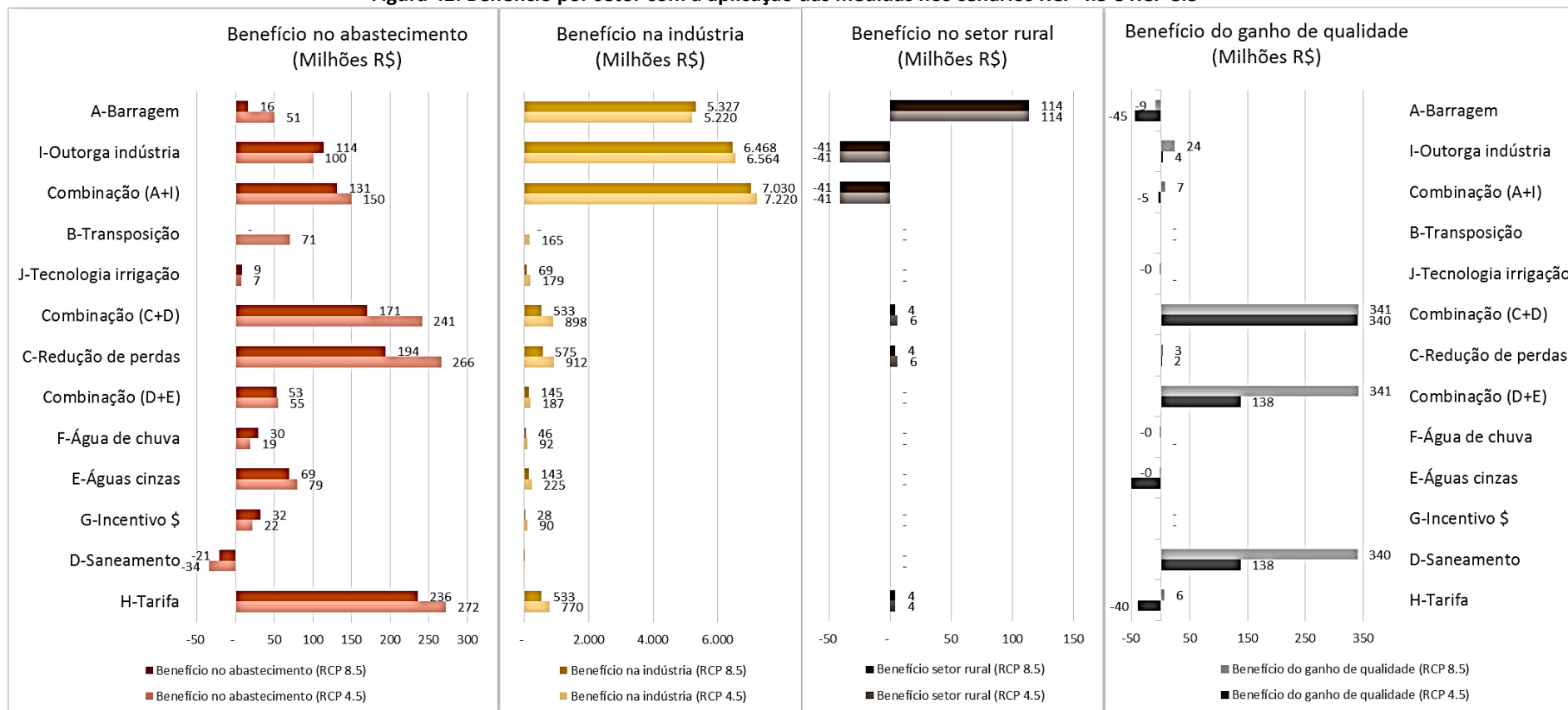
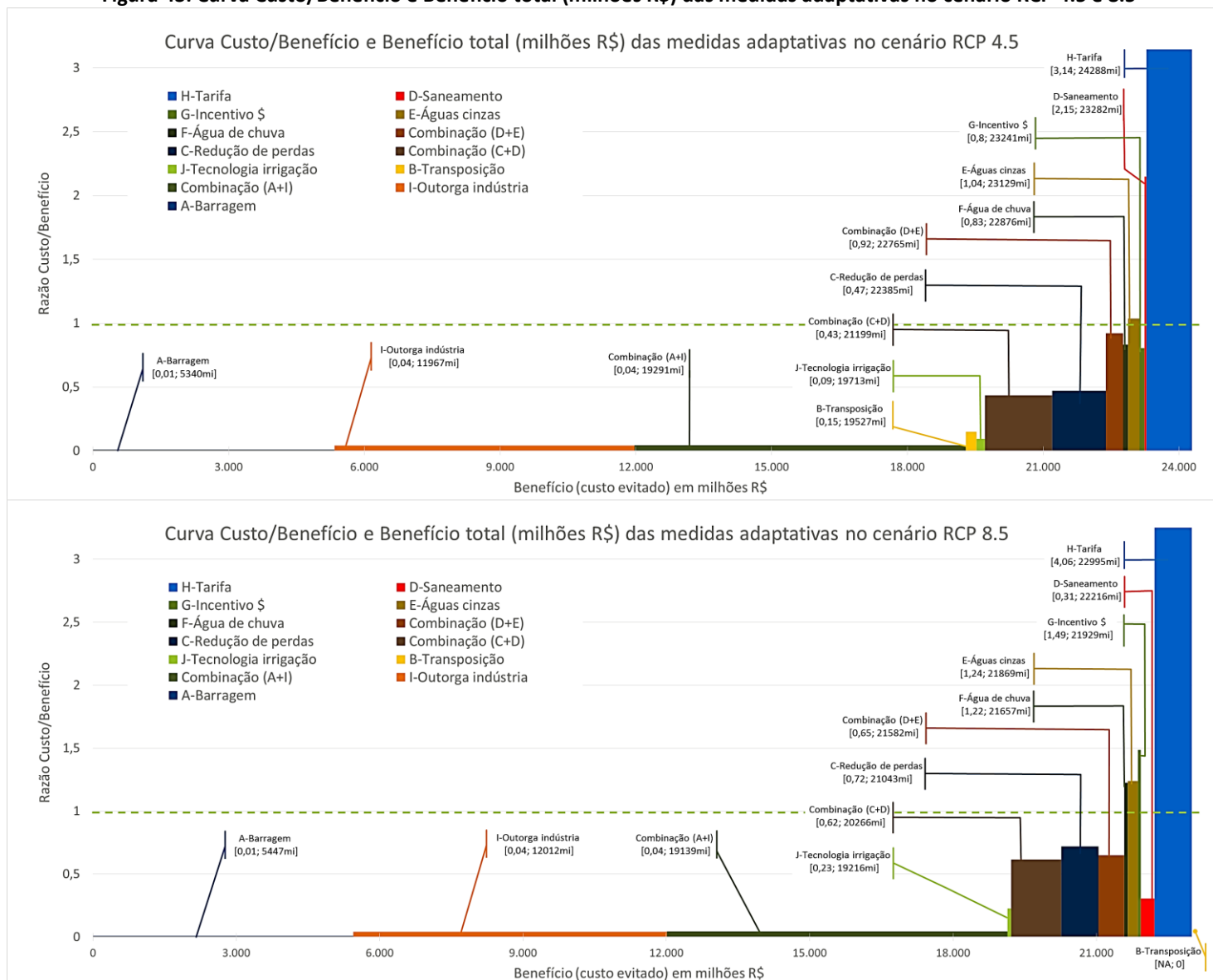


Figura 43: Curva Custo/Benefício e Benefício total (milhões R\$) das medidas adaptativas no cenário RCP 4.5 e 8.5



9.2.1 Comentários gerais

O resultado da análise de custo-benefício ordena as medidas adaptativas em decorrência de sua eficiência econômica. Medidas cujos benefícios superam os custos são elencadas como positivas, ou seja, as perdas evitadas superam os valores de implantação. A leitura da Figura 41 demonstra que além da razão de custo/benefício, o montante total de benefício varia de forma bastante expressiva ao longo das medidas adaptativas. Nota-se uma discrepância entre o benefício gerado pelas três primeiras com o restante.

As duas medidas que destoam das demais por terem excelentes razões de custo/benefício e também grandes montantes de perdas evitadas (benefícios) são as barragens e o aumento da tarifa de outorga para os usuários industriais com auto-abastecimento. A combinação destas medidas (Combinação A+I) é igualmente notável em trazer baixos custos relativos aos altos retornos.

Uma análise detalhada da distribuição destes benefícios pelas três categorias de uso valoradas (abastecimento, indústria e usos rurais), ilustrada pelas figuras Figura 38, Figura 39, Figura 40, denota que a indústria é a maior beneficiária – afinal, é aquela com o maior risco climático total. O resultado não surpreende, uma vez que há preponderância econômica da indústria na bacia do PCJ, responsável por R\$ 59,77 bilhões em VAB (2012), 18,5% do VAB industrial paulista.

Adicionalmente, a Lei Federal nº 9.433/1997, conhecida como a "Lei das Águas", traz em seu rol de princípios a priorização do uso da água para consumo humano e animal mediante situações de escassez. Dessa forma, a indústria tem seu abastecimento comprometido antes dos outros dois usos, e é a combinação dos maiores déficits de água com os maiores valores sob risco que fazem com que o benefício para essa categoria se torne tão volumoso. Inclusive, essa categoria de uso encontra-se em outra escala de valores por completo: enquanto o risco climático total para os usos rurais é de aproximadamente R\$ 160 milhões e aproximadamente R\$ 800 milhões para o abastecimento, para a indústria tais riscos somam aproximadamente R\$ 8 bilhões (ver seção 7).

A medida A – Construção de barragens e adutoras é mensurada pela implantação das barragens de Duas Pontes, no rio Camanducaia, e Pedreira, no rio Jaguari. Tal como descrito no anexo respectivo, a medida parte do pressuposto que a operação conjunta dos reservatórios resultaria em ganhos na disponibilidade hídrica entre 7,0 e 11 m³/s (tendo como base a Q95%). A escolha para a simulação destes dois reservatórios em particular advém do estudo que identificou sete possíveis eixos barráveis na bacia do PCJ e concluiu por estes como sendo as melhores alternativas (Engecorps, 2008).

Os reservatórios se localizam em sub-bacias com pouca demanda hídrica, justamente por isso são combinados com obras de adução dessa água reservada para a sub-bacia do rio Jundiá, onde há, ao contrário, muita demanda (municípios de Jundiá e Indaiatuba como principais) e não há regularização de vazão por nenhum reservatório significativo. Dessa forma, as águas armazenadas por uma sub-bacia de menor demanda podem fluir – principalmente nos meses secos – para a sub-bacia de maior demanda.

Já a medida I – Aumento do valor da outorga para indústria é mensurada pela simulação de aumento de 100% na tarifa cobrada pelo consumo de um metro cúbico pelos usuários industriais

com auto-abastecimento. Ou seja, as duas medidas mais custo-benéficas influenciam preponderantemente a vazão disponível para a demanda de uso industrial. A combinação entre as duas medidas (Combinação A+I), embora some os custos de ambas medidas, traz como resultado físico a expressiva mitigação do risco climático para o uso industrial.

Tal como demonstrado na seção 7, as mudanças climáticas agravarão uma situação já estressada³³. A continuidade prevista de expansão das atividades industriais encontra municípios maiores e mais urbanos, além de um aumento no uso rural da água. O que o presente exercício de ACB incita, além das possibilidades de avaliação metodológica e técnica de medidas adaptativas contra os efeitos prejudiciais das mudanças climáticas, é a dificuldade inerente em gerir o recurso hídrico em si. Trata-se, afinal, de um "recurso comum", onde há um alto grau de rivalidade (o consumo de água por um agente subtrai o volume disponível para o outro agente) e um alto grau de não-exclusividade (há dificuldade de excluir potenciais beneficiários).

A gestão das águas transpassa diversas esferas de influência, de interação e de fronteiras, sendo dinâmica por essência. Toda a população da bacia hidrográfica do PCJ está correlacionada espacial e temporalmente - usuários a montante e a jusante interagem, mesmo que indiretamente, e afetam uns aos outros; conexões hidrológicas entre águas superficiais e subterrâneas têm reflexos sobre os mais diversos usuários. As interações são tantas que mesmo os usos mais singelos podem potencializar reações em cadeia.

Prova dessa interação advém da própria medida I - Aumento do valor da outorga para indústria. Ao promover, via encarecimento da outorga, uma redução de demanda de uso industrial, as interações entre disponibilidade de água e seu fluxo (de montante a jusante) na bacia permitem que mais indústrias captem água que, não fosse pela medida, não estaria disponível. Eis que, ao permitir a captação industrial em alguns municípios, outros ainda mais a jusante receberão volumes menores de água ao ponto de tornar deficitária a disponibilidade de uso rural. Esse déficit rural acarreta perdas financeiras, porém de menor magnitude que os benefícios auferidos pela indústria. Não obstante, há uma questão distributiva implícita que não pode ser ignorada.

A metodologia de ACB, muito embora revele as questões distributivas, não as fatora no ranqueamento das alternativas. Novamente, trata-se de um ordenamento sob a lógica exclusiva da eficiência econômica. O prejuízo de usuários rurais (a jusante) em prol de usuários industriais (a montante) não invalida o exercício. Ao contrário, o que a razão de custo-benefício demonstra é que os ganhos econômicos com as medidas permitem que os usuários beneficiados compensem financeiramente os usuários prejudicados e ainda gerem excedentes³⁴.

³³ Nota-se que a bacia do PCJ encontra-se muito próximo ao limite hídrico. Em 2008, segundo o Plano de Bacia, já eram captados 91% da disponibilidade hídrica total, perfazendo um consumo (COBRAPE, 2011) de 20,1 m³/s. Segundo o mesmo documento, as projeções de demanda consuntiva indicam uma capacidade limitada de atendimento no ano de 2018, mesmo após a adoção de medidas "locais e ou de viabilidade facilitada". A partir de então, apenas medidas "integradas e/ou complexas" conseguiriam fazer frente às demandas. Dentre estas medidas integradas estão as duas barragens ora estudadas.

³⁴ A teoria sublinhada pela ACB é a da eficiência de Pareto, onde uma redistribuição de benefícios deve ser realizada desde que pelo menos um usuário seja beneficiado sem que traga prejuízo a outros usuários. Há, ao menos na teoria, um benefício líquido à sociedade. Uma vez que à água é dotada de valor econômico, a descentralização democrática da gestão do recurso hídrico (BRASIL, 2009) permite negociações privadas entre beneficiados e prejudicados por medidas adaptativas - ou outras alterações nas formas de alocação e uso do recurso.

É fundamental notar que as medidas adaptativas podem trazer efeitos positivos e negativos correlatos, não relacionados à perda evitada, que não foram valorados. A adoção de técnicas mais eficientes de irrigação, por exemplo, pode acarretar em maior rendimento da produção. A reservação e adução de água nas barragens de Duas Pontes e Pedreiras para a sub-bacia do rio Jundiá pode prejudicar usuários a jusante dos barramentos, bem como diminuirá a vazão ecológica. Parte desse efeito indesejável está valorado pela perda de qualidade em quatro e três municípios, sob os cenários climáticos RCP 4.5 e 8.5, respectivamente, que têm seus custos de tratamento de água aumentados. A realocação de volumes de água da bacia ao longo do tempo e do espaço (balanço hídrico) também faz com que as quatro medidas adaptativas que reduzem a demanda por água de abastecimento (medidas E, F, G e H) causem uma não desejável piora na qualidade da água para um município especificamente.

Outra categoria de uso significativamente afetada por alterações no balanço hídrico é a pertinente aos serviços ecossistêmicos. Após os usos para abastecimento, industrial e agrícola, as vazões restantes devem diluir efluentes e prover habitat para a fauna aquática, que por sua vez alimenta as aves aquáticas e assim sucessivamente, influenciando todo o equilíbrio ecológico. Embora tais efeitos se façam nítidos do ponto de vista físico, suas valorações pecuniárias não encontram parâmetros de mercado e demandam, assim, outras técnicas de valoração.

Em conclusão, o exercício apresentado demonstra a metodologia e a técnica de compreensão da magnitude dos riscos climáticos, magnificados pelas mudanças climáticas. Demonstra, mensurando em valor monetário, como a complexa rede de interações hídricas e socioeconômicas responderia ao extenso rol de medidas mitigadoras. Todas as categorias de uso interagem, somando efeitos que podem resultar em problemas de abastecimento, assoreamento, regularização de vazões com impactos sobre as várzeas e as atividades produtivas. Se submetidas a uma estratégia integrada de gestão das águas mediante instrumentos como os aqui apresentados, podem resultar em benefícios líquidos para todos.

9.2.2 Comentários gerais por medida

Medidas que afetam a oferta

Por serem medidas adaptativas relacionadas a oferta de água, um dos benefícios comuns, independente do custo dessas medidas é o aumento da oferta do recurso, sem que seja necessária mudança no padrão de consumo em nenhum grupo de usuários. Dentre essas medidas a que representa maior custo de implementação é a “C - Eficiência da rede de distribuição” e a mais barata é a “B - Transposição de bacias”, tendo custo mais baixo do que medidas como coleta de água de chuva e incentivos econômicos para redução do uso de água.

- **Medida A-Construção de barragens e adutoras:** Apesar do baixo custo, a medida “A - Construção de barragens e adutoras” tem um efeito negativo sobre a qualidade da água, porém apresenta a melhor relação custo benefício em ambos os cenários, assim como uma diminuição substancial no déficit hídrico para abastecimento.
- **Medida B-Transposição de bacias:** Apesar do alto custo inicial a medida B apresenta baixo custo total e bom custo benefício no cenário RCP 4.5. No entanto, a diminuição no déficit hídrico não é muito significativa nesse cenário e não se altera no cenário RCP 8.5, não gerando nenhum benefício econômico. Além disso, alguns municípios sofreriam perda na qualidade da água com a aplicação da medida em ambos os cenários.

- **Medida C-Eficiência da rede de distribuição:** A medida C é custo-benéfica em ambos os cenários e é a única, dentre todas as medidas analisadas a trazer, no cenário RCP 4.5, benefícios para todos os grupos valorados em quantidade e qualidade. Porém, é válido ressaltar que essa medida representa o segundo maior custo de implementação.

Medidas que afetam a qualidade

- **Medida D – Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto:** A medida se mostra eficiente em cumprir seu objetivo de melhorar a qualidade da água. Segundo a aplicação 16 municípios tem a classe de seus rios melhorada no cenário RCP 4.5 e 23 municípios a tem no cenário RCP 8.5. Porém, o custo-benefício dessa medida é muito alto no cenário RCP 4.5 e só seria economicamente vantajosa no cenário RCP 8.5. De qualquer maneira, é importante considerar que existem diversos benefícios não valorados vinculados à maior qualidade da água, como a possibilidade de usos recreativos, de pesca e biodiversidade. Ressalta-se que essa medida não altera as demandas, apesar de afetar a quantidade devido à realocação de água na bacia para tratamento.

Medidas que afetam a demanda (geral)

Das 6 medidas que afetam a demanda analisadas neste estudo, 4 não são custo benéficas em pelo menos um dos cenários com mudança climática, ou seja, apresentam o custo de implementação maior do que o benefício que trazem. Sendo que as medidas “E – Reúso de águas cinzas em residências” e “H – Aumento de tarifa de água” não são custo benéficas em ambos os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.

- **Medida E – Reúso de águas cinzas nas residências:** O investimento necessário para a implementação da Medida E é de R\$ 3,4 bilhões, sendo a mais cara dentre as medidas que visam a redução de demanda aplicadas a residências. Com a aplicação da medida, a redução é de 3,6% da demanda total e 6,5% da demanda de abastecimento. Não obstante, os custos para tanto são muito altos e a medida se torna inviável em ambos os cenários RCP 4.5 e RCP 8.5.
- **Medida F - Aproveitamento residencial de água de chuva:** A reservação individual é custo-benéfica apenas no cenário RCP 4.5, e por conta do alto custo, é inviável no cenário 8.5. A leitura é similar à medida E, uma vez que apresenta benefícios em relação à quantidade reduzida, sendo 1,8% de redução da demanda total e 3,3% da demanda de abastecimento, mas inviável por conta da demanda de investimentos. O investimento necessário, em VPL, é de R\$ 1,2 bilhão.
- **Medida G – Incentivos econômicos para uso racional de água:** A medida G apresenta bom custo benefício apenas no cenário RCP 4.5. Além de não promover alterações na qualidade da água é menos eficiente na redução de demanda do que a medida E. Em percentuais, a economia é de 2,0% da demanda total e 3,7% da demanda de abastecimento. A medida custa, em VPL, R\$ 1,17 bilhão, ou seja, próximo a quantia da medida F. A análise realizada aponta, entretanto, mais adequado o financiamento da instalação de reservação individuais (captação de água de chuva) uma vez que as razões de custo-benefício são melhores. Ambas as medidas F e G apresentam melhor relação custo-benefício do que a medida E, embora esta traga maior economia de água.

- **Medida H – Aumento na tarifa de água:** A medida que simula o aumento na tarifa de água representa uma economia, bastante significativa, no volume total demandando da ordem de 13,7%, ou 25% da demanda de abastecimento. Seu custo, entretanto, é extremamente alto, fazendo desta a medida mais cara, com o custo de R\$ 41 bilhões. Esse é o valor, em VPL, que os consumidores da rede pública de abastecimento dispenderiam ao longo dos próximos 35 anos, reduzindo assim suas demandas. Em termos de custo-benefício, a medida apresenta os piores resultados dentre as 10 medidas analisadas e é 4,7 vezes mais cara do que a medida “C – Aumento de eficiência da rede de distribuição”, que é a segunda mais cara.

O baixo grau de elasticidade-preço da demanda por água (demanda inelástica) reflete o alto grau de necessidade do recurso hídrico. De forma análoga, a insensibilidade ao preço através das classes de consumo, como detalhado na descrição da medida, demonstra que o custo do recurso deve aumentar em muito para motivar mudanças de hábitos - refletindo o baixo valor cobrado atualmente. Sendo assim, os resultados ilustram a amplitude das mudanças econômicas que necessitariam ocorrer para se aproximar os valores de cobrança pelo recurso do valor de escassez do recurso. Outra constatação interessante é que a maior parte dos benefícios econômicos dessa medida são auferidos pela indústria, que consegue captar água com menos restrições de volume.

- **Medida I - Aumento do valor da outorga para indústria:** Dentre as medidas relativas a demanda, a medida I se mostra a mais eficiente em relação ao custo-benefício, ficando atrás somente da medida A, relacionada a oferta de água. A própria indústria, nesse caso, é quem mais se beneficiaria da sua redução de demanda e substituição do recurso por outros fatores de produção. O custo para as indústrias no PCJ, que é compilado de acordo com o perfil industrial vigente na bacia, é de R\$ 3,53 bilhões em VPL, que são amplamente repostos pelos benefícios resultantes de uma economia de 19% na demanda total de água. Essa redução de demanda é a mais significativa de todas as medidas adaptativas analisadas, fruto da redução de 65,8% na demanda industrial. T tamanha redução se faz possível mediando os altos graus de elasticidade do recurso hídrico para a indústria, diferentemente da inelasticidade para o abastecimento humano mostrada no resultado da medida H.
- **Medida J – Eficiência no uso de técnicas de irrigação:** A aplicação da medida que aumenta a eficiência na irrigação é custo-benéfica, significando que sua realização traz benefícios superiores aos seus custos de implantação e operação em ambos os cenários climáticos analisados. A economia no volume total de água é de apenas 1,3%, fruto de uma redução de 8,5% na demanda para usos rurais. Porém, essa medida é a que apresenta menor custo entre as 10 consideradas nesse estudo, com um VPL de R\$ 228 milhões.

Medidas combinadas

- **Medida (A+I) - Construção de barragens e adutoras + Aumento do valor da outorga para a indústria:** As medidas A e I são aquelas que trazem as melhores razões de custo-benefício, sendo que a primeira delas aumenta a disponibilidade hídrica enquanto a segunda, altera a demanda por água. O resultado continua, portanto, com uma excelente razão de custo-benefício de 0,04 em ambos os cenários climáticos. Ou seja, os investimentos de R\$ 4,11 bilhões (em VPL) são amplamente superados pelos

benefícios. A redução na demanda por água é igual à ocorrida na medida I, equivalente a 19% do total. Essa redução, quando combinada com a maior disponibilidade hídrica, faz com que o déficit esperado sob a condição climática no cenário RCP 4.5 seja reduzido em 38%. Essa redução era de 30% com a medida A e de 10% com a medida I, o que faz dessa combinação uma excelente estratégia para minimizar prejuízos futuros.

A categoria de uso que mais se beneficia no cenário RCP 4.5 é a industrial, que tem seu déficit reduzido em 57%. Já sob o cenário RCP 8.5, o déficit que era reduzido em 29% pela medida A, quando combinado com a redução de apenas 2% da medida I, resulta em uma redução total de 39%. O risco de desabastecimento é, assim, minimizado em grande parte. A indústria, nesse caso, tem seu risco de desabastecimento reduzido em 65%.

- **Medida (C+D) - Eficiência da rede de distribuição + Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto:** Tanto a medida de “C – Aumento de eficiência da rede de distribuição” como “D – Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto” estão contempladas pelo Programa de enquadramento da Bacia PCJ (COBRAPE, 2014) e detém recursos pré-destinados. A primeira delas ataca a ineficiência da distribuição de água, reduzindo perdas. Já a segunda medida traz maior qualidade ao efluente gerado. A aplicação única da medida C era custo-benéfica em ambos os cenários climáticos. Já a medida D não atingia eficiência econômica no cenário RCP 4.5. A combinação das duas medidas, no entanto, resulta em índices de custo-benefício menores do que 1, ou seja, há retorno do investimento em termos de perdas evitadas. Essa combinação resulta em uma redução no déficit hídrico de 28% em 2050 em um clima sob cenário RCP 4.5. A redução no déficit chega a 31% sob cenário RCP 8.5, sendo essa a mais expressiva redução encontrada nas medidas. Para implementar conjuntamente ambas as medidas prescritas, o custo em VPL é de R\$ 8,42 bilhões.
- **Medida (D+E) - Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto + Reúso de águas cinzas em residências:** Enquanto a medida D melhora a qualidade do efluente gerado, a medida E promove a redução de demanda por água de abastecimento por meio do reúso de águas cinzas. Ambas as medidas não eram custo-benéficas no cenário RCP 4.5 e passam a ser quando combinadas. Já no cenário RCP 8.5, a medida D era custo-benéfica, enquanto a E não era. Quando combinadas, os benefícios passam a superar os custos que são da ordem de R\$ 4,56 bilhões.

10 CONCLUSÃO

A partir das primeiras seções teóricas e metodológicas e das últimas focadas na aplicação prática da ACB na bacia escolhida, o presente estudo cumpre com seu objetivo geral de avaliar o método de custo benefício proposto por meio de uma aplicação teórica e didática do mesmo. Foi aplicado em tema de interesse conjunto do MMA e ANA, ou seja, recursos hídricos em um recorte territorial comum no planejamento da ANA, uma bacia hidrográfica federal, utilizando sempre que possível e conveniente dados reais.

Explorou a fase de escolha e priorização de medidas de adaptação a serem implementadas aprofundando o entendimento do método de análise de custo-benefício de medidas utilizando como base o método *Economics of Climate Adaptation* (CLIMATEWORKS FOUNDATION, 2009) na região e tema definidos.

A execução concomitante de oficinas de trabalho, assim como videoconferências com as equipes do MMA e ANA também contribuiu positivamente para a execução do estudo e principalmente com seu objetivo didático permitindo a capacitação das equipes no método, assim como a coleta de informações, críticas e percepções durante o processo de elaboração.

A escolha para a aplicação, feita em conjunto com o MMA e ANA, da bacia hidrográfica dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí (PCJ), se mostrou muito favorável aos objetivos do estudo. Se por um lado a complexidade socioeconômica e sua, igualmente complexa, interface com os recursos hídricos presente na bacia do PCJ fosse um grande desafio para aplicação, por outro, a qualidade e quantidade de dados disponíveis para a mesma, assim como de estudos e ferramentas específicas (por exemplo, o SSD-PCJq), foi um facilitador em diversas fases da aplicação. Mostrou-se relevante desde a validação e calibração dos dados de projeção climática até a caracterização das medidas adaptativas.

Por fim, é importante ressaltar que apesar do esforço de se utilizar métodos e dados os mais próximos da realidade, a aplicação serve para um olhar crítico quanto ao método aplicado e seus resultados não devem ser utilizados e interpretados para tomada de decisão sem que haja uma revisão crítica e contextualizada dos mesmos, uma vez que existem simplificações e incertezas que devem ser consideradas, como previsto nos seus objetivos. No entanto, devido seu alto grau de aderência com a realidade, próximos estudos mais aprofundados e completos podem usá-lo como ponto de partida.

ANEXO 1: AVALIAÇÃO DAS PROJEÇÕES CLIMÁTICAS E MODELO CHUVA-VAZÃO

ANEXO 2: DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS MEDIDAS ADAPTATIVAS

ANEXO 3: PRODUTO 3.1.2 – RELATÓRIO DA OFICINA RELATIVA AO PRODUTO 3.0 (2/07/2014; BRASÍLIA)

11 BIBLIOGRAFIA³⁵

ACHARYA, G. Approaches to valuing the hidden hydrological services of wetland ecosystems. **Ecological Economics**, 35, 2000. 63-74.

ADLER, M. D.; POSNER, E. A. Rethinking Cost-Benefit Analysis. **University of Chicago Law School, John M. Olin Law & Economics Working Paper**, 72, Abril 1999.

AGÊNCIA DAS BACIAS DO PCJ. **Relatório da Situação dos Recursos Hídricos**. Agência das Bacias do PCJ, Comitês PCJ. 2013.

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Relatório de Gestão das Bacias PCJ 2012**. 2012.

AGRAWALA, S.; FANKHAUSER. Putting Climate Change Adaptation in an Economic Context, 2008. p. 19-28.

AS/NZS. **AS/NZS ISO 31000:2009 Risk Management - Principles and guidelines**. Standards Australia; Standards New Zeland. 2009.

AUSTRALIAN GOVERNMENT. **Representative Concentration Pathways (RCPs)**. Department of the Environmet. p. 3. 2013.

BALMFORD, A. et al. Economic Reasons for Conserving Wild Nature. **Science**, v. 297, 2002.

BIESBROEK, G. R.; AL., E. Europe adapts to climate change: comparing national adaptation strategies. **Global environmental change**, v. 20, n. 3, p. 440-450., 2010.

BRASIL. **Plano Nacional sobre Mudança do Clima - PNMC**. Governo Federal, Comitê Inteministerial Sobre Mudança Do Clima. 2008.

BRASIL. **Lei nº 12.187 de 29 de Dezembro de 2009**. 2009.

BRESCH, D.; SPLEGEL, A. **Economics of Climate Adaptation (ECA) - Shaping climate-resilient development: A factsheet on urban resilience**. Swiss Re. 2011.

BRITES, A. P. Z. **Enquadramento dos Corpos de água Através de Metas Progressivas: Probabilidade de Ocorrência e Custos de Despoluição Hídrica**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

BRONZO, C. Intersectorialidade, autonomia e território em programas municipais de enfrentamento da pobreza: experiências de Belo Horizonte e São Paulo. **Planejamento e Políticas Públicas**, 2010.

CARVALHO, R. C. D. **GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: CONFLITO E NEGOCIAÇÃO NA QUESTÃO DAS ÁGUAS TRANSPOSTAS DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 237. 2005.

³⁵ As bibliografias específicas dos anexos encontram-se descritas ao final dos mesmos

CLIMATEWORKS FOUNDATION. **Economics of Climate Adaptation - shaping climate-resilient development.** ClimateWorks Foundation; Global Environment ; European Commission; McKinsey; Rockefeller. 2009.

COBRAPE. **Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010-2020, com propostas de atualização de enquadramento dos corpos d'água e de programa para efetivação do enquadramento dos corpos d'água até o ano de 2035.** Agência de Água PCJ. Piracicaba. 2011.

COBRAPE. **Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, no Estado de São Paulo.** Departamento de Águas e Energia Elétrica. p. 207. 2013.

COBRAPE. **Relatório 5 - Programa para efetivação de enquadramento. Volume I - Diagnóstico.** Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – Agência de Bacias PCJ. 2014.

COBRAPE. **Relatório 5 - Programa para efetivação do enquadramento.** COBRAPE. 2014.

COBRAPE. **Relatório R5 - Programa para Efetivação do Enquadramento. Volume III- Plano de Ação.** Fundação Agência das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá – Agência de Bacias PCJ. 2014.

COMITÊS PCJ. Comitês PCJ, 2014. Disponível em: <http://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=101>. Acesso em: 3 setembro 2014.

COMITÊS PCJ; AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. **Relatório da Situação dos Recursos Hídricos 2013 - UGRHI 05 Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá.** Comitês PCJ e Agência das Bacias PCJ. 2012.

CONAMA, GOBIERNO DE CHILE. **Plan de Acción Nacional de Cambio Climático.** 2008.

CONSÓRCIO PCJ. Consórcio PCJ, 2012. Disponível em: <<http://www.agua.org.br/>>. Acesso em: 5 Setembro 2014.

CONSTANZA, R. et al. The Value of Ecosystem services: putting the issues in perspective. **Ecological Economics**, 25, 1998. 67-72.

CONSTANZA, R.; FARBER, S.; MAXWELL, J. Valuation and Management of Wetland Ecosystems. **Ecological Economics**, 1, 1989. 335-361.

CUSINATO, R. T.; MINELLA, A.; PÔRTO JR, S. S. Hiato do Produto e PIB no Brasil: uma Análise de Dados em Tempo Real. **Working Paper nº 203**, Brasília, 2010.

DIXIT, A. et al. Ready or Not: Assessing Institutional Aspects of National Capacity for Climate Change Adaptation. **WRI Report**, 2012. Disponível em: <<http://www.wri.org/publication/ready-or-not>>.

ENGECORPS. **Bacia do Rio Piracicaba Estudos de Disponibilidade Hídrica.** Petrobras. p. 83. 2008.

FBDS; CPETEC/INPE. **Estimativa da Oferta de Recursos Hídricos no Brasil em Cenários Futuros de Clima (2015-2100)**. p. 78. 2010.

FERES, J.; REYNAUD, A. **Demanda por água e custo de controle da poluição hídrica nas indústrias da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2005.

FMI. **World Economic Outlook: a survey by the staff of the International Monetary Fund**. International Monetary Fund. Washington. 2014.

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment (Print)**, 25, 2011. 537-554.

GUIMARÃES NETO, L. Cap. 2 - Antecedentes e evolução do planejamento territorial na Brasil. In: FAVARETO, A. E. A. **Políticas de desenvolvimento territorial rural no Brasil: avanços e desafios**. Brasília: Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA), 2010.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2000**, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em: 15 agosto 2014.

IBGE. **Contas Nacionais número 23: Matriz de Insumo-Produto Brasil 2000/2005**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- Diretoria de Pesquisas Coordenação de Contas Nacionais. Rio de Janeiro. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>>. Acesso em: 15 agosto 2014.

IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation**. International Panel on Climate Change. 2012.

IPEA. **Brasil em desenvolvimento 2010**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília. 2010.

IRISH DEPARTMENT OF THE ENVIRONMENT, COMMUNITY AND LOCAL GOVERNMENT. **National Climate Change Adaptation Framework**. 2012.

IRISH MINISTER FOR THE ENVIRONMENT, HERITAGE AND LOCAL GOVERNMENT; IRISH MINISTER OF STATE WITH SPECIAL RESPONSABILITIES FOR HORTICULTURE, SUSTAINABLE TRAVEL AND PLANNING HERITAGE. **Implementing the National Spatial Strategy: 2010 Update and Outlook**. 2010.

IRRIGART. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: situação dos recursos hídricos 2004/2006**. Comitê de Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí e Consórcio PCJ. Piracicaba. 2007.

KAHN, J. R. **The Economic Approach to Environmental and Natural Resources**. 3a. ed. Estados Unidos: Thomson South-Western, 2005.

LI, H.; SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F. **Bias correction of monthly precipitation and temperature fields from Intergovernmental Panel on Climate Change AR4 models using equidistant quantile matching.** Journal of Geophysical Research. 2010.

LIMA, J. D. S. Política de desenvolvimento territorial no Brasil: fundamentos, pressupostos e conceitos, Lima, 2013. http://www.egal2013.pe/wp-content/uploads/2013/07/Tra_Jamille-da-Silva-Lima.pdf.

MCTI. **Segunda comunicação nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima.** MCTI - Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília. 2010.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **GT Adaptação**, 2013. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/clima/grupo-executivo-sobre-mudanca-do-clima/grupo-executivo-sobre-mudan%C3%A7as-clim%C3%A1ticas/item/9143>>. Acesso em: outubro 2013.

MULLAN, M. . E. A. National Adaptation Planning: Lessons from OECD Countries. **OECD Environment Working Papers**, n. No. 54, 2013.

MUNDA, G. Cost-benefit analysis in integrated environmental assessment: some methodological issues. **Ecological Economics**, 1996. 157-168.

OECD. **Integrating Climate Change Adaptation into Development Co-operation.** 2009.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Volume 2 - Impactos, Vulnerabilidades e Adaptação.** 2013.

PARKER, D. E. et al. Decadal to interdecadal climate variability and predictability and the background of climate change. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, 112, 2007. 1984-2012.

PBMC. **Sumário Executivo do Primeiro Relatório de Avaliação Nacional – Volume 1: Base Científica das Mudanças Climáticas.** Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. 2013.

RIAHI, K. et al. **Riahi K et al 2011 RCP 8.5—a scenario of comparatively high greenhouse gas emissions Clim. Change 109 33–57.** Climatic Change, volume 109,issue 2-1. p. 33-57. 2011.

ROSA, L. P.; OBERMAIER, M. Mudança climática e adaptação no Brasil: uma análise crítica. **Estudos Avançados**, 2013.

SABESP. **Guardião das Águas**, 2014. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/Pages/GuardiaoAguas.aspx>>. Acesso em: 31 Agosto 2014.

SILVA, S. P. Considerações analíticas e operacionais sobre a abordagem territorial em políticas públicas. **Políticas Sociais: acompanhamento e análise**, Artigo Especial, n. 21, 2013.

SILVEIRA, C. et al. **Verificação das previsões de tempo para precipitação usando ensemble regional para o estado do Ceará em 2009.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.26, n.4,. p. 609-618. 2011.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2014. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 20 agosto 2014.

SOUZA, E. B. D.; MANZI, A. O. Mudanças Ambientais de curto e longo prazo: Projeções, Reversibilidade e Atribuição. In: _____ **Primeiro Relatório de Avaliação Nacional do PBMC**. 2013. p. 366-391.

STS ENGENHARIA. **Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2008-2011**. Agência de Água PCJ. 2007.

TEIXEIRA, C. A. **Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade de Água**. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 2004.

THOMSON, A. M. et al. **RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100**. Climatic Change, volume 109, issue 1-2. p. 77-94. 2011. (doi:10.1007/s10584-011-0151-4.).

TURPIE, J. et al. **Economic Value of the Okavango Delta, Botswana, and implications for management**. International Union for Conservation of Nature, Directorate of Environmental Affairs and th Okavango Delta Management Project. 2006.

UNEP. **Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment and Adaptation Strategies**. 1998.

UNFCCC. **Assessing the costs end benefits - an overview of approaches**. 2011.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE (UNFCCC). **Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation In Developing Countries**. Bonn Germany. 2007.

VAN BEUKERING, P. et al. **The Niger, A lifeline: Effective Water Management in the Upper Niger Basin**. RIZA, Lelystad; Wetlands International Severe; Institute for Environment Studies (IVM), Amsterdam; A&W Ecological Consultants, Veenwouden. Mali, The Netherlands. 2005.

WILLOWS, R. et al. **Climate adaptation: Risk, uncertainty and decision-making. Part 2**. Oxford, UK. Climate Impacts Programme. p. 41-87.

WRI; UNDP; UNEP; WORLD BANK. **World Resources 2010 - 2011: Decision making in a changing climate - adaptation challenges and choices**. World Resources Institute, em colaboração com United Nations Development Programme; United Nations Environment Programme; World Bank. Washington DC. 2011.

ZAGATTO, P. A.; ZAGATTO, N. P. **Tendência da qualidade das águas dos rios da bacia do Piracicaba, dos últimos 35 anos de monitoramento (1978 a 2012)**. Bioagri; Zagatto Consultoria Ambiental e Social. Piracicaba. 2014.

ANEXO 1 – AVALIAÇÃO DAS PROJEÇÕES CLIMÁTICAS E MODELO CHUVA-VAZÃO

PARTE INTEGRANTE DO PRODUTO 3.0 - RELATÓRIO DA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA CUSTO/BENEFÍCIO (ECONOMICS OF CLIMATE ADAPTATION)

O presente estudo hidrológico de avaliação de cenários climáticos futuros e seus impactos na disponibilidade hídrica e na qualidade da água na Bacia hidrográfica do PCJ foi realizado por Joaquin Igancio Bonnacarrère Garcia, João Rafael Bergamaschi Tercini, Andre Schardong, Cristiano de Pádua Milagres Oliveira, Daniela Mendes Rossi com o objetivo de subsidiar o Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (*Economics of Climate Adaptation*).

SUMÁRIO

1	Introdução	4
2	Modelo chuva-vazão	5
2.1	Levantamento de dados	5
2.2	Análise da consistência do modelo de previsão	6
2.3	Correção do VIÉS	11
2.4	Calibração do modelo chuva-vazão	14
3	Simulação SSD PCJq	19
4	Cenários	26
5	Referências	27

Tabelas

Tabela 1: Tabela de contingência 2 x 2.....	7
Tabela 2: Dados das demandas nas bacias PCJ	20

Figuras

Figura 1: Postos pluviométricos utilizados no estudo	5
Figura 2: Pesos máximos e mínimos nas quadrículas.....	6
Figura 3: Proporção de acerto da previsão	8
Figura 4: Probabilidade de detecção da previsão	9
Figura 5: Falso alarme da previsão	10
Figura 6: Viés da previsão.....	11
Figura 7: Funções de distribuição de frequências relativas acumuladas	12
Figura 8: Curvas de permanência da para cenário RCP4.5	13
Figura 9: Curvas de permanência da para cenário RCP8.5	13
Figura 10: Precipitações mensais para cenário RCP4.5	14
Figura 11: Precipitações mensais para cenário RCP8.5	14
Figura 12: Sub-bacias associadas às quadrículas.....	15
Figura 13: Sub-bacia localizada sob diversas quadrículas	15
Figura 14: Histograma dos coeficientes de determinação das Bacias do PCJ	16
Figura 15: Hidrograma das vazões naturais observadas e calculadas na sub-bacia CRUM013.....	17
Figura 16: Coeficiente de determinação entre as vazões calculadas e observadas para a sub-bacia CRUM013.....	17
Figura 17: Hidrograma das vazões naturais observadas e calculadas na sub-bacia ATIB102	18
Figura 18: Coeficiente de determinação entre as vazões calculadas e observadas para a sub-bacia ATIB102	18
Figura 19: Esquema do comportamento do modelo em uma sub-bacia	24
Figura 20: Esquema do comportamento do modelo no reservatório	25

1 INTRODUÇÃO

Esse anexo visa complementar as informações dispostas no “Produto 3.0 - Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (*Economics of Climate Adaptation*)”.

Especificamente, o presente anexo visa apresentar a metodologia utilizada e resultados obtidos na:

- Correção do Viés dos dados de precipitação fornecidos pelo INPE, previsões de chuva gerados pelo modelo Eta/HadGEM2-ES do INPE para os cenários de emissão: RCP4.5 e RCP8.5.
- A elaboração de um modelo hidrológico para determinar, a partir dos dados de precipitação fornecidos pelo INPE, as séries de vazões para cada uma das sub-bacias que estão presentes no Plano de Bacias do PCJ. Tal metodologia foi calibrada e testada para o período de dados compatível.

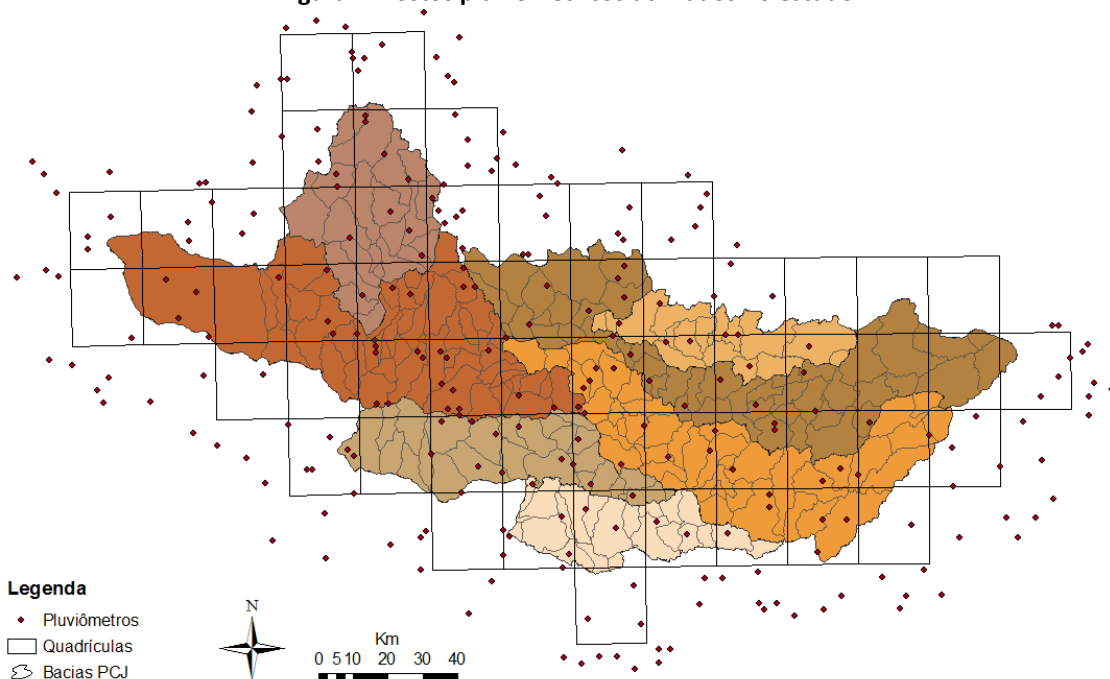
2 MODELO CHUVA-VAZÃO

O modelo chuva-vazão proposto neste estudo tem como por objetivo principal alimentar a base de dados do Sistema de Suporte a Decisão de qualidade da água das Bacias do Piracicaba, Capivari e Jundiá SSD PCJq. O SSD PCJq abrange toda a extensão da bacia do PCJ e foi discretizado em 225 sub-bacias, sendo desta forma obter um modelo que estabeleça uma vazão incremental para cada uma dessas bacias baseado na chuva prevista pelo modelo Eta/HadGEM2-ES do INPE.

2.1 LEVANTAMENTO DE DADOS

As precipitações diárias observadas em 277 pluviômetros da região, entre o período de 01 de janeiro de 1960 a 31 de dezembro de 1990, foram utilizadas para avaliar a qualidade dos dados de chuva prevista na região e posteriormente correção dos dados. A Figura apresenta os postos pluviométricos utilizados no estudo.

Figura 1: Postos pluviométricos utilizados no estudo



A precipitação foi interpolada para cada quadricula da grade, de maneira a representar a média ponderada das precipitações observadas em cada pluviômetro, que foram calculadas pela Equação 1, e os pesos da ponderação conforme a Equação 2.

$$P_{qua} = \frac{\sum W \times P_{plu}}{\sum W} \quad (1)$$

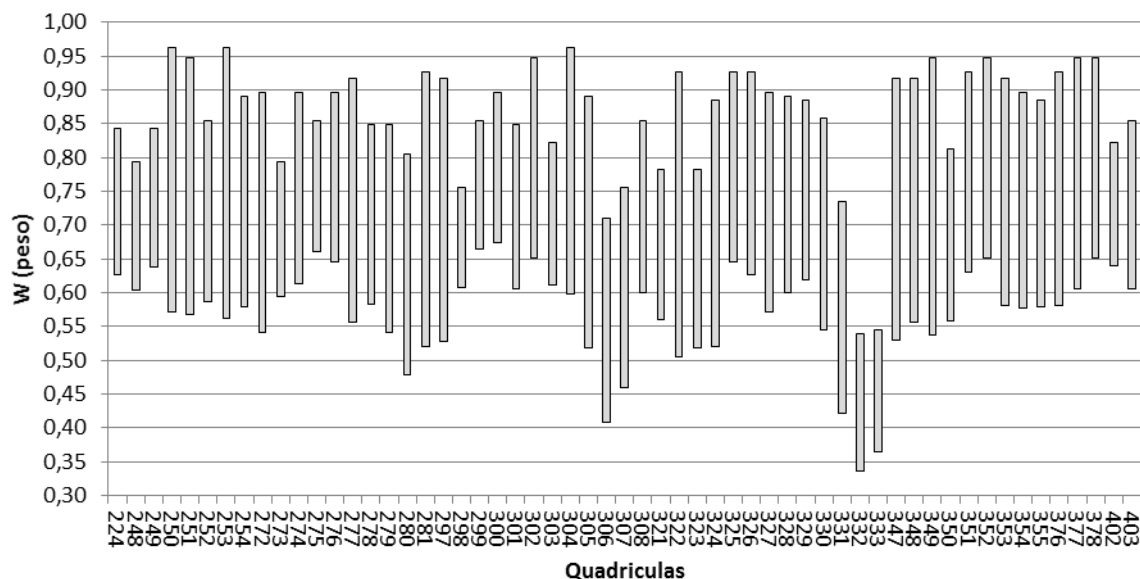
$$W = 10^{-\sqrt{(X_{plu}-X_{qua})^2 + (Y_{plu}-Y_{qua})^2}} \quad (2)$$

Onde:

- P_{qua} : precipitação observada interpolada na quadrícula;
- W : peso de cada pluviômetro em relação a quadrícula;
- P_{plu} : precipitação observada no pluviômetro;
- X_{plu} e Y_{plu} : coordenadas do pluviômetro;
- X_{qua} e Y_{qua} : coordenadas centrais da quadrícula

Para o cálculo da quadrícula utilizou-se os 15 postos mais representativos no gráfico da Figura 2, são apresentados os valores máximos e mínimos dos pesos dos postos para cada quadrícula.

Figura 2: Pesos máximos e mínimos nas quadrículas



Como se observe na figura acima as quadrículas 332 e 333 têm os piores pesos para os postos pluviométricos, abaixo de 0,6, devido estarem localizadas no estado de Minas Gerais e o estudo não contemplar os pluviômetros deste estado.

As chuvas diárias interpoladas nas quadrículas foram acumuladas mês a mês. Sendo assim calculados alguns índices que dizem a respeito da qualidade dos dados de previsão. A metodologia para comparação (SILVEIRA, COSTA, *et al.*, 2011) consistiu em comparar os 372 pares de valores modelado/observado (372 meses, ou 31 anos) para cada uma das 57 quadrículas da grade de resultados do modelo que cobre as bacias do PCJ, onde os valores modelados são referentes à de precipitação diária simulada, e os observados são os valores interpolados dos pluviômetros espalhados na região para as quadrículas do modelo.

2.2 ANÁLISE DA CONSISTÊNCIA DO MODELO DE PREVISÃO

Neste item foram realizados alguns testes para avaliar a consistência do modelo de previsão adotado para este estudo, utilizando metodologia proposta por (SILVEIRA, COSTA, *et al.*, 2011). Na Tabela 1 é apresentada a contingência 2 x 2, a qual expressa o número de vezes em que ocorreram as diversas combinações entre previsão e observação. Nesse caso específico, os valores possíveis de precipitação são divididos em duas categorias:

- Não, se estiver abaixo de um limite estabelecido e
- Sim, se acima desse mesmo limite.

Tabela 1: Tabela de contingência 2 x 2

		Observação	
		Sim	Não
Previsão	Sim	<i>a</i>	<i>b</i>
	Não	<i>c</i>	<i>d</i>

Foram estabelecidos e testados 3 limites de precipitação: 10 mm, 100 mm e 200 mm. E os valores de *a*, *b*, *c* e *d* são utilizados para estimar as frequências relativas de cada uma destas combinações, a partir desses valores foram estimados *H* - proporção de acerto (Equação 3), *POD* - probabilidade de detecção (Equação 4), *FAR* - falso alarme (Equação 5) e *VIÉS* -tendência em superestimar ou subestimar (Equação 6).

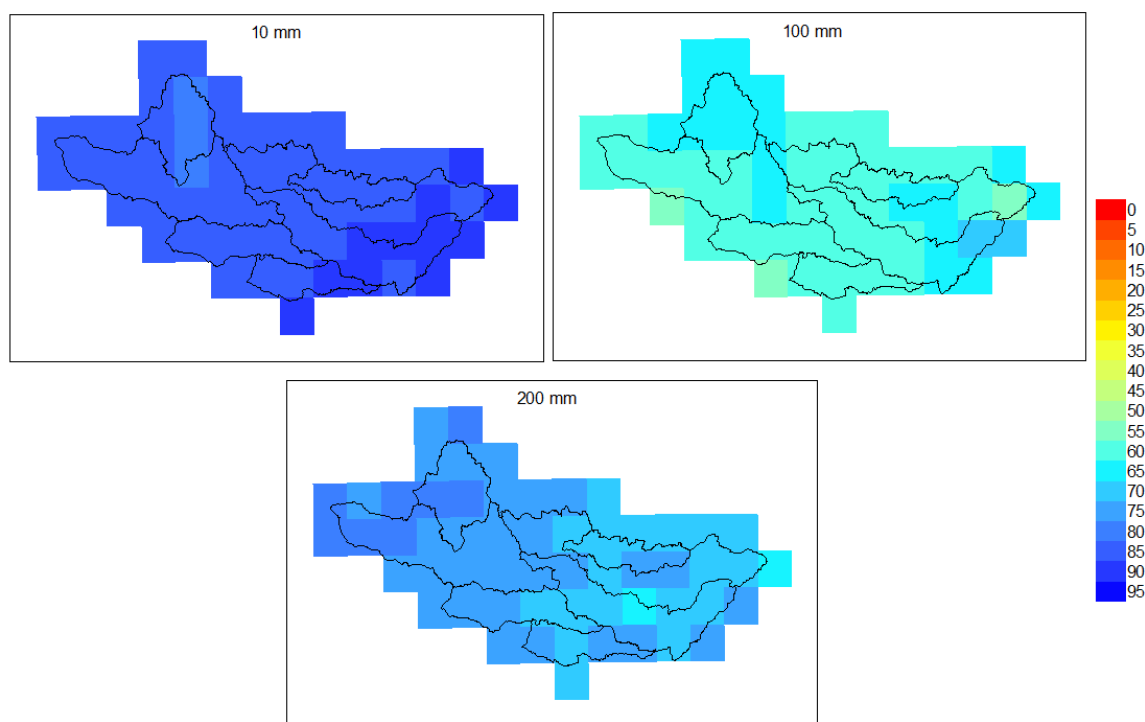
A proporção de acerto (*H*), descrita pela Equação 3, e apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** expressa a fração na qual o sistema de previsão acertou a faixa ou categoria de chuva.

$$H = \left(\frac{a + d}{n} \right) \times 100 \quad (3)$$

Onde:

- *H*: proporção de acerto (%);
- *a*: número de dias com combinação acima do limite para observação e previsão;
- *d*: número de dias com combinação abaixo do limite para observação e previsão;
- *n*: número de dias do período de verificação.

Figura 3: Proporção de acerto da previsão



Se o sistema de previsão for perfeito, a proporção de acerto H tende a 100%. A proporção de acertos não faz qualquer distinção entre acertar a precipitação acima de um limite pré-estabelecido e acertar a não ocorrência do evento.

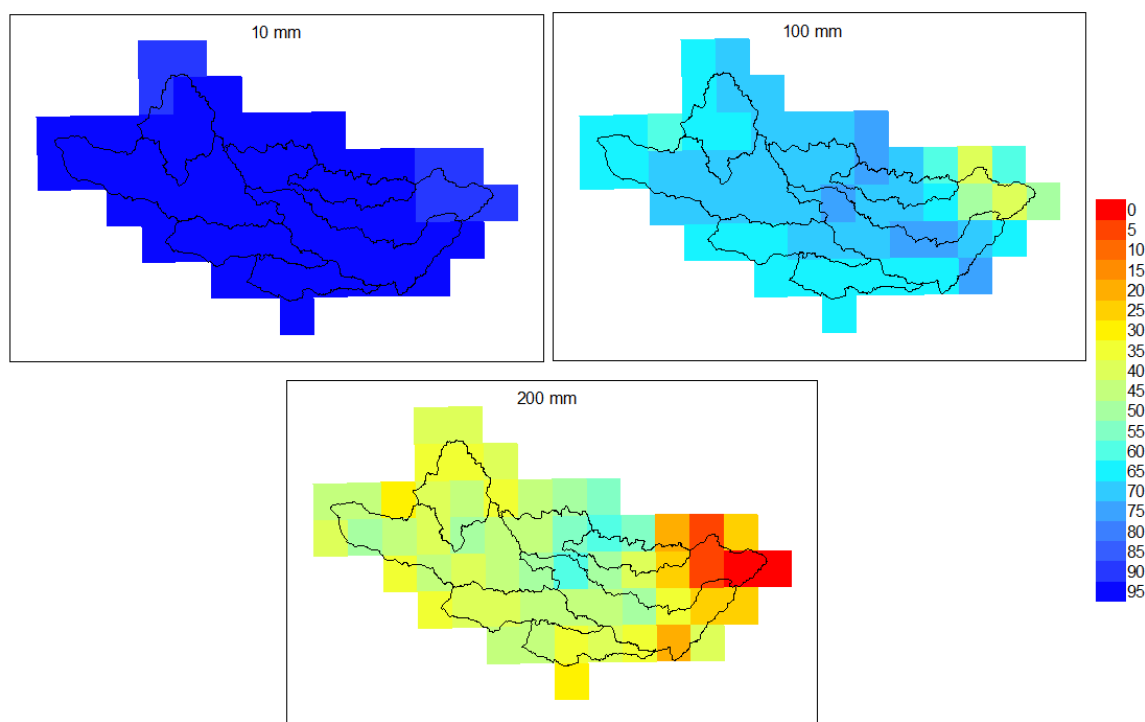
A probabilidade de detecção (POD), descrita pela Equação 4, e apresentada na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** representa a probabilidade do sistema prever a ocorrência do evento, dado que o evento de fato ocorreu.

$$POD = \left(\frac{a}{a + c} \right) \times 100 \quad (4)$$

Onde:

- POD : probabilidade de detecção (%);
- a : número de dias com combinação acima do limite para observação e previsão;
- c : número de dias com combinação acima do limite para observação e abaixo do limite para previsão.

Figura 4: Probabilidade de detecção da previsão



Um sistema de previsão perfeito possui $POD = 100\%$, ou seja, o evento nunca acontece sem que o sistema de previsão o tenha previsto.

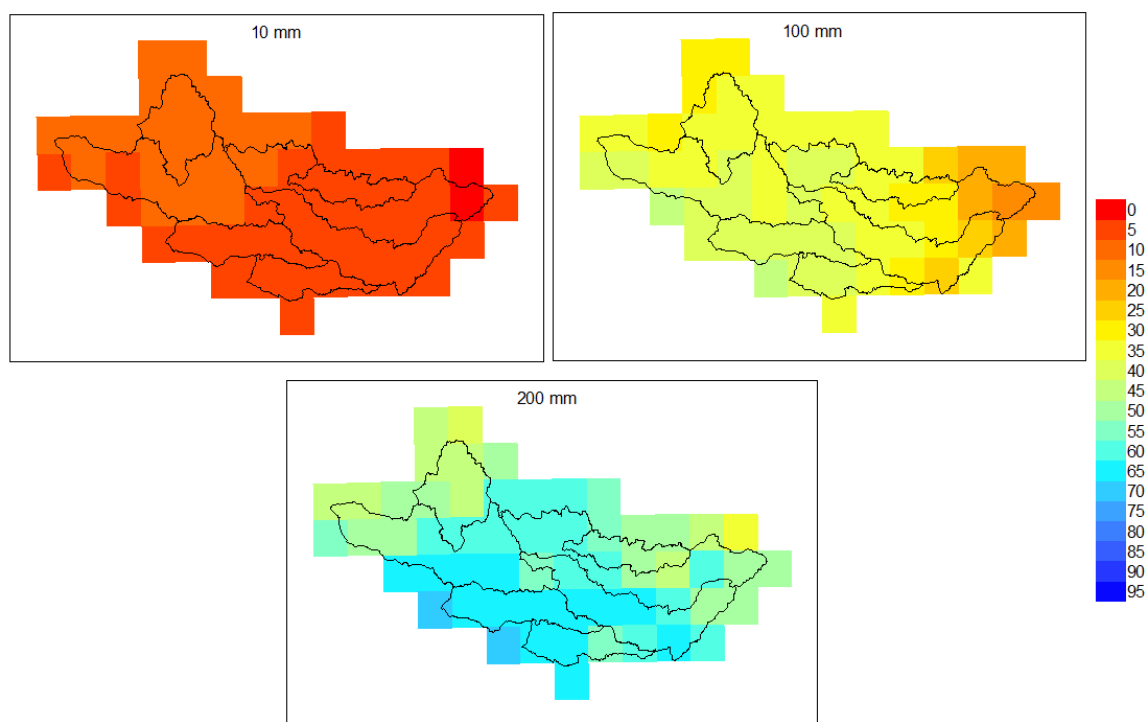
O falso alarme (FAR), descrito na Equação 5 e apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, representa a probabilidade de não se observar chuva acima de um determinado limite, dado que o sistema de previsão indicou chuva acima dessa categoria.

$$FAR = \left(\frac{b}{a + b} \right) \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- FAR : falso alarme (%);
- b : número de dias com combinação abaixo do limite para observação e acima do limite para previsão;
- a : número de dias com combinação acima do limite para observação e previsão.

Figura 5: Falso alarme da previsão



Um sistema de previsão perfeito apresenta FAR=0, da mesma forma que se o sistema sempre indica que o evento vai ocorrer e ele não ocorre, tem-se FAR=100%. O FAR é dado por:

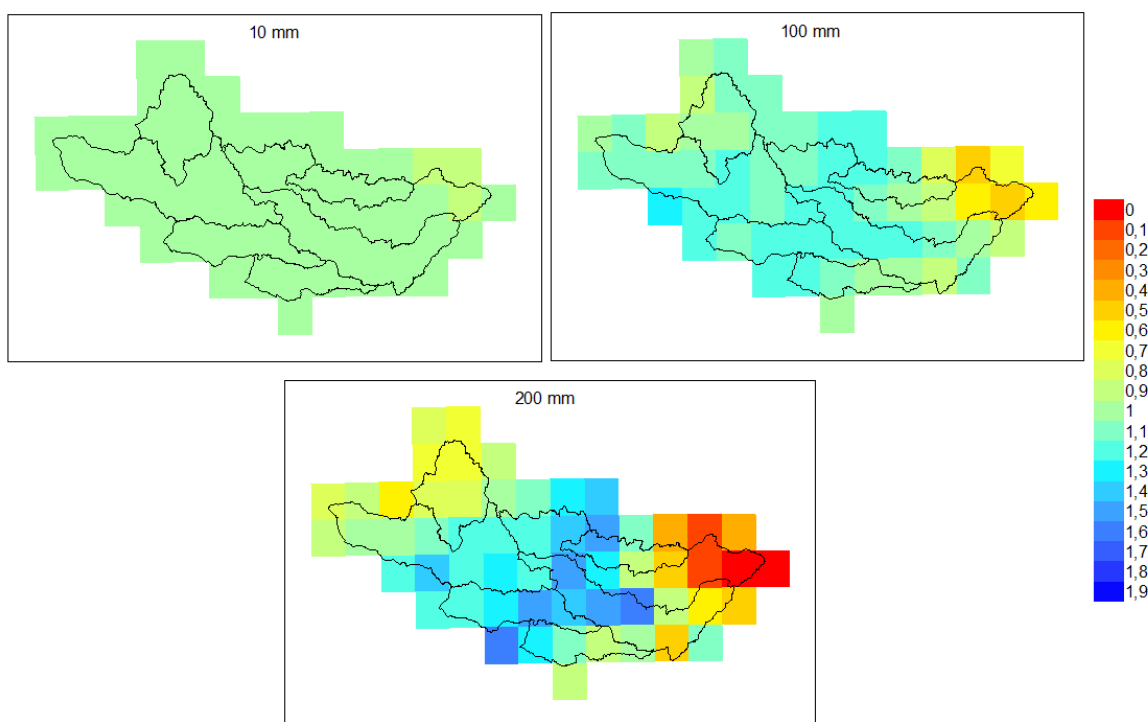
A razão de VIÉS (Equação 6), apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, indica uma possível tendência do sistema de previsão em superestimar ou subestimar os eventos de precipitação.

$$VIÉS = \frac{a + b}{a + c} \quad (6)$$

Onde:

- *VIÉS*: tendência do sistema de previsão em superestimar ou subestimar;
- *a*: número de dias com combinação acima do limite para observação e previsão;
- *b*: número de dias com combinação abaixo do limite para observação e acima do limite para previsão;
- *c*: número de dias com combinação acima do limite para observação e abaixo do limite para previsão;

Figura 6: Viés da previsão



Calculado como a razão entre o total de eventos previstos e o total de eventos observados têm-se três possibilidades:

- $VIÉS = 1$, significa que o sistema de previsão não é tendencioso, ou seja, não possui tendência a subestimar ou superestimar o número de eventos de precipitação acima do limiar estabelecido.
- $VIÉS > 1$, o sistema de previsão tende a superestimar o número de eventos ocorrido para um dado limiar, e
- $VIÉS < 1$, o sistema tende a subestimar.

2.3 CORREÇÃO DO VIÉS

Para correção do VIÉS das precipitações mensais utilizou-se o método da equidistância do quartil correspondente (LI, SHEFFIELD e WOOD, 2010). Onde se obtém as funções de distribuição de frequências relativas acumuladas das séries de precipitações mensais observadas, modeladas no mesmo período da série observada e modeladas previstas. Sendo que para um determinado percentual, assumimos que a diferença entre o modelo e o valor observado durante o período de observado, também se aplica ao período previsto. Conforme descreve a Equação 7.

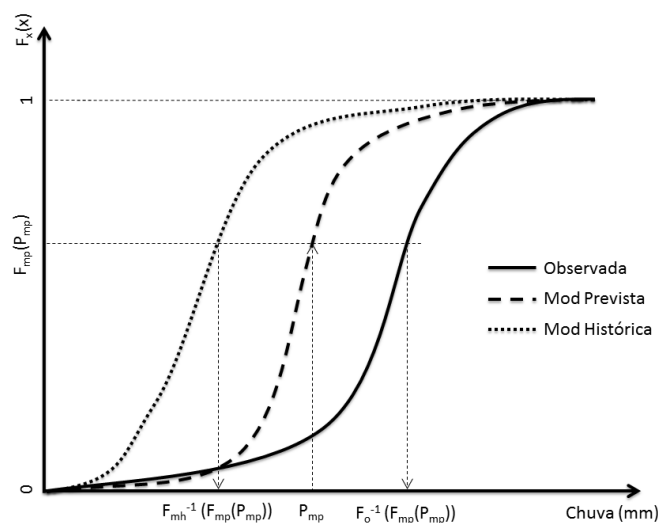
$$P_{mc} = P_{mp} + F_o^{-1} \left(F_{mp}(P_{mp}) \right) - F_{mh}^{-1} \left(F_{mp}(P_{mp}) \right) \quad (7)$$

Onde:

- P_{mc} : Precipitação modelada corrigida (mm);
- P_{mp} : Precipitação modelada prevista (mm);
- F_{mp} : Função de distribuição de frequências relativas acumuladas das séries de precipitações mensais modeladas previstas;
- F_o^{-1} : Função inversa de distribuição de frequências relativas acumuladas das séries de precipitações mensais observadas;
- F_{mh}^{-1} : Função inversa de distribuição de frequências relativas acumuladas das séries de precipitações mensais modeladas no mesmo período da série observada.

A Figura 7 apresenta de forma gráfica as funções de distribuição de frequências relativas acumuladas F_o , F_{mp} e F_{mh} . Destacando os componentes da Equação 7.

Figura 7: Funções de distribuição de frequências relativas acumuladas



As chuvas foram corrigidas levando em consideração o seu período hidrológico, sendo estabelecidas funções de distribuição de frequências relativas acumuladas para o período seco (abril, maio, junho, julho, agosto, setembro e outubro) e outra para o período úmido (janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro).

Para exemplificar a correção da chuva iremos utilizar a quadricula 403, onde as curvas de permanência das precipitações do período seco, úmido e todo período para os dados brutos e corrigidos são apresentadas na Figura 8 para o cenário RCP4.5 e na

Figura 9 para o cenário RCP8.5.

Figura 8: Curvas de permanência da para cenário RCP4.5

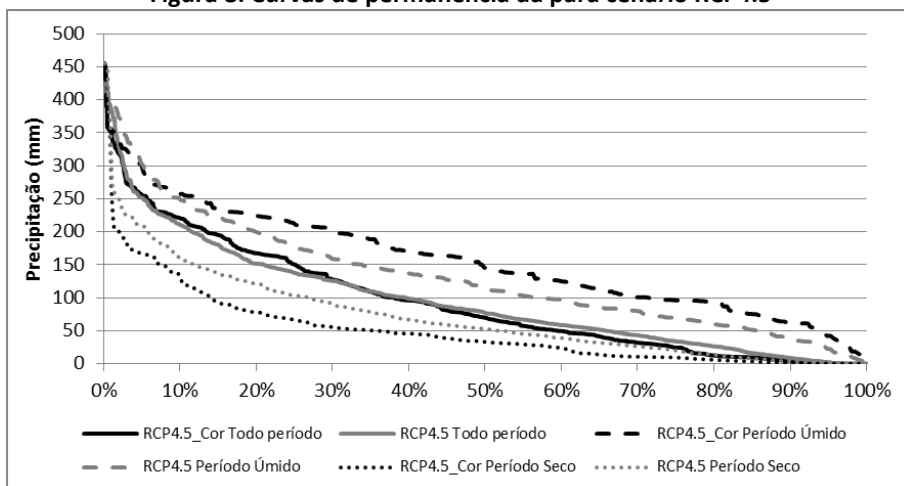
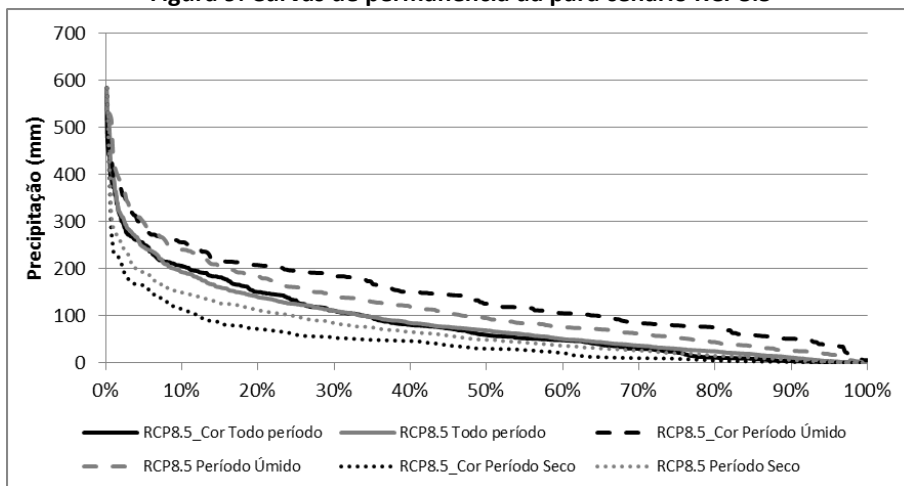


Figura 9: Curvas de permanência da para cenário RCP8.5



Nota-se que não há uma grande mudança nos padrões da curva de permanência para todo período, período, porém quando se compara os períodos hidrológicos tais diferenças aparecem. A Figura 10 e Figura 11 apresentam as séries de precipitações corrigidas e brutas para cada cenário de emissões.

Figura 10: Precipitações mensais para cenário RCP4.5

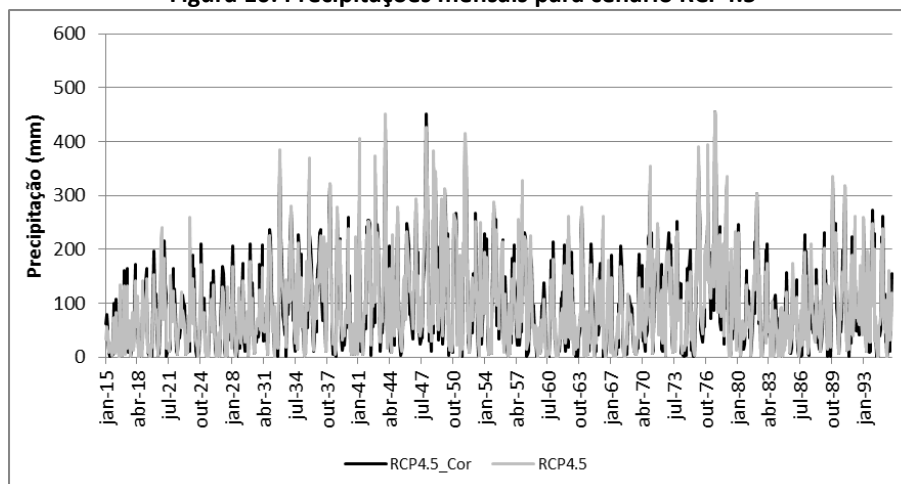
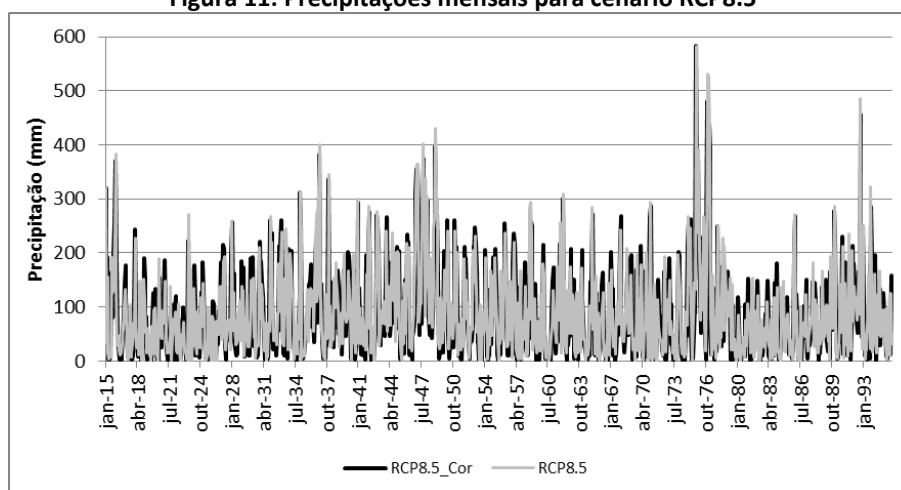


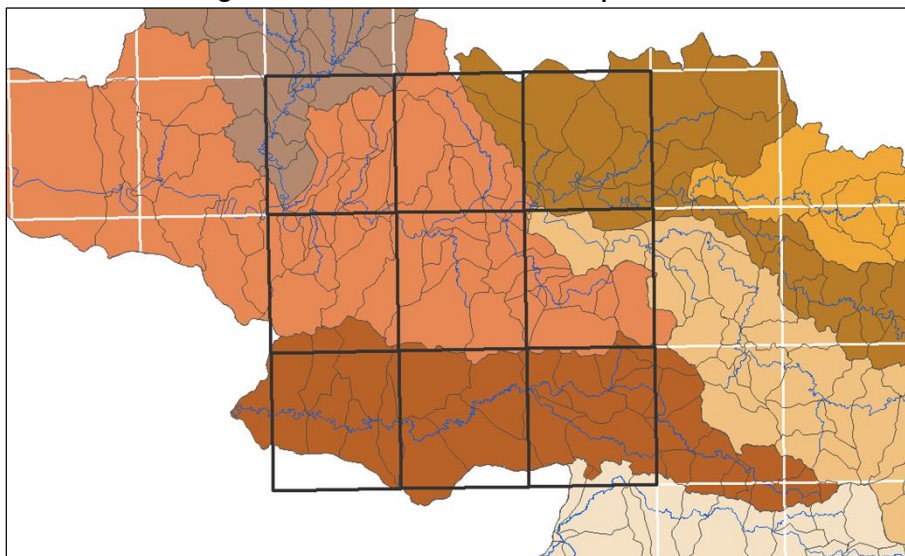
Figura 11: Precipitações mensais para cenário RCP8.5



2.4 CALIBRAÇÃO DO MODELO CHUVA-VAZÃO

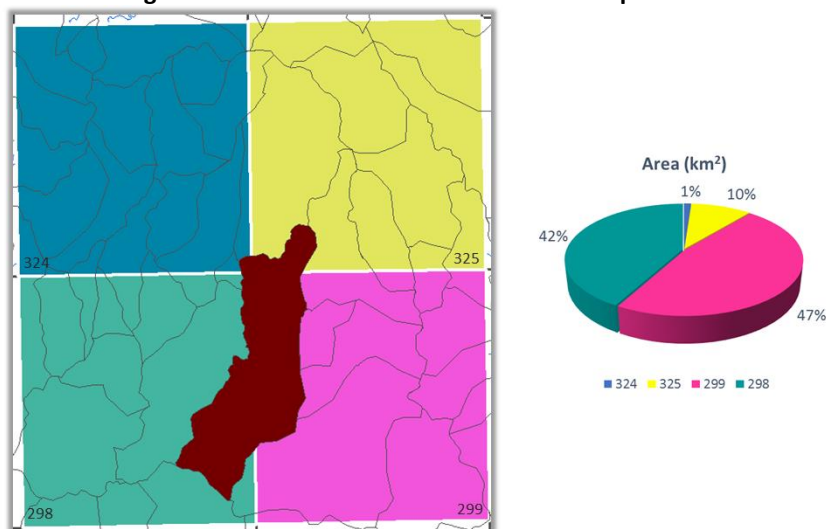
O cruzamento geográfico entre as quadrículas e as sub-bacias consideradas neste estudo, foi feito baseado na proporção de área dentro de cada quadrícula atribuindo a respectiva chuva da quadrícula. Nota-se na Figura 12 que uma quadrícula pode ter diversas sub-bacias totalmente inseridas na sua área de abrangência, portanto, todas terão a mesma precipitação.

Figura 12: Sub-bacias associadas às quadrículas



No entanto, algumas sub-bacias podem ter influência de duas ou mais quadrículas, dependendo de seu tamanho e localização. A Figura 13 apresenta o exemplo de uma sub-bacia que está localizada na interseção entre 4 quadrículas. A precipitação dessa sub-bacia será calculada de acordo com o valor ponderado de cada quadrícula.

Figura 13: Sub-bacia localizada sob diversas quadrículas



Modelo chuva-vazão é uma ferramenta que consiste em obter a vazão correspondente ao exutório desta bacia a partir de dados de precipitação em uma dada bacia hidrográfica.

Dada uma série de precipitações e um valor inicial de vazão, a série de previsão de vazões correspondente a série de precipitações é calculada pelo modelo aqui proposto segundo a Equação 8.

$$Q_i = \alpha P_i + \beta P_{i-1} + \gamma P_{i-2} + \delta \quad (8)$$

Onde:

- Q : Vazão;
- P : Precipitação; e
- α, β, γ e δ : Coeficientes da equação.

Portanto, tem-se que para o cálculo da vazão em um determinado instante de tempo, utiliza-se o valor das precipitações do mês atual, do mês passado e do mês retrasado. Cada um destes parâmetros é multiplicado pelos seus respectivos coeficientes. O coeficiente δ implica em um fator de correção.

A calibração do modelo chuva-vazão se deu para cada uma das 225 sub-bacias. Sendo que o processo de calibração do modelo Chuva-Vazão é realizado com base na série de precipitações observadas, onde, através da Equação 8, calcula-se a série de vazões correspondentes. Em seguida, o modelo utiliza a ferramenta Solver presente no Excel para ajustar os coeficientes α , β , γ e δ , de modo a minimizar a soma do erro quadrático entre a série de vazões observada e a série de vazões calculadas, conforme a Equação 9.

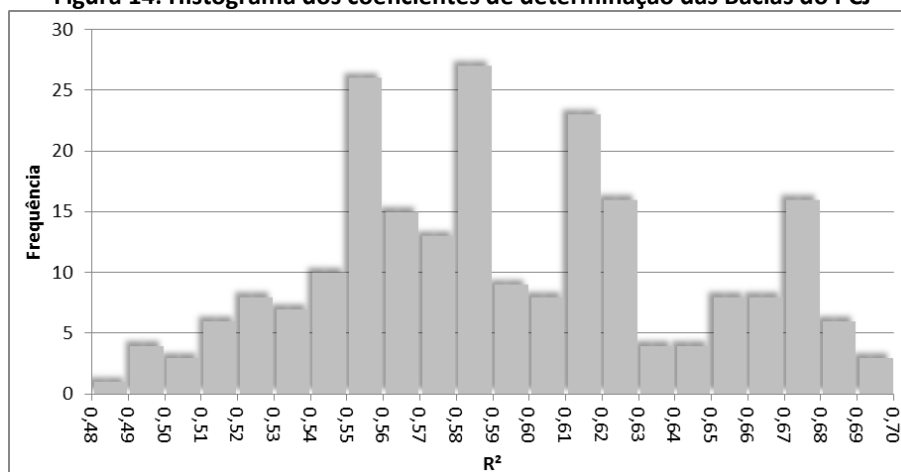
$$\text{Solução} = \min \sum (Q_{obs} - Q_{calc})^2 \quad (9)$$

Onde:

- Q_{obs} : Valor da vazão observada; e
- Q_{calc} : Valor da vazão calculada.

Os coeficientes de determinação (R^2), entre os valores de vazão calculados pelo modelo calibrado e valores de vazão observada, tiveram seu pior desempenho na sub-bacia CRUM013 (0,4877) e melhor desempenho na sub-bacia ATIB102 (0,6964). O histograma dos R^2 para as sub-bacias é apresentado na Figura 14.

Figura 14: Histograma dos coeficientes de determinação das Bacias do PCI



A Figura 15 apresenta o hidrograma da sub-bacia CRUM013 no período da série histórica utilizada para calibração, a qual possui o menor coeficiente de determinação (Figura 16) das sub-bacias.

Figura 15: Hidrograma das vazões naturais observadas e calculadas na sub-bacia CRUM013

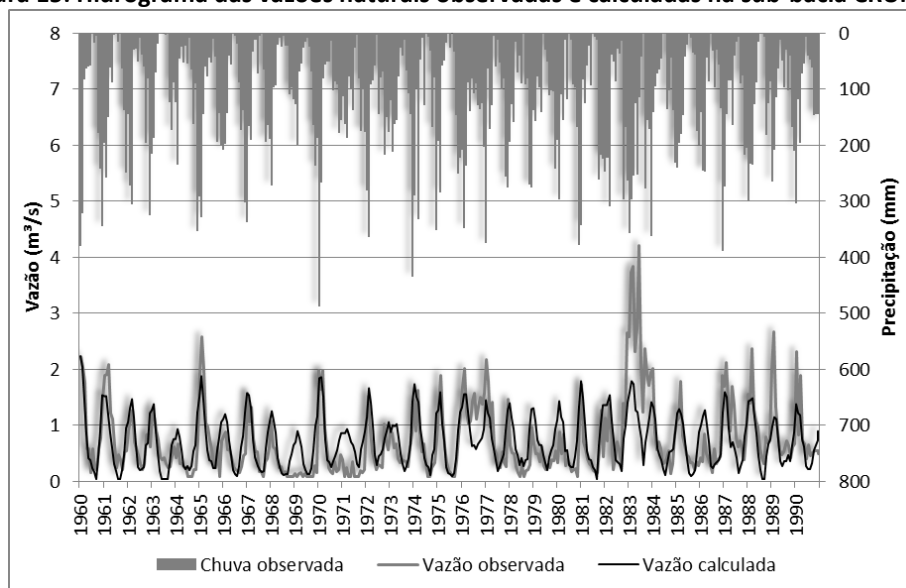
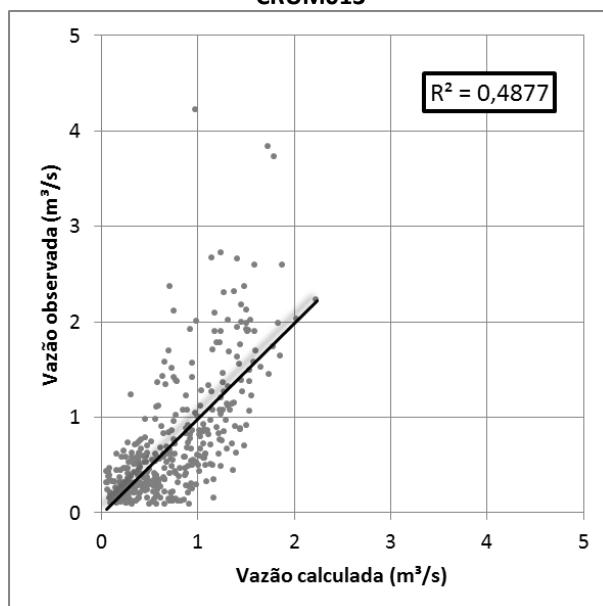


Figura 16: Coeficiente de determinação entre as vazões calculadas e observadas para a sub-bacia CRUM013



A Figura 17 apresenta o hidrograma da sub-bacia ATIB102 no período da série histórica utilizada para calibração, a qual possui o maior coeficiente de determinação (Figura 18 Figura 16) das sub-bacias.

Figura 17: Hidrograma das vazões naturais observadas e calculadas na sub-bacia ATIB102

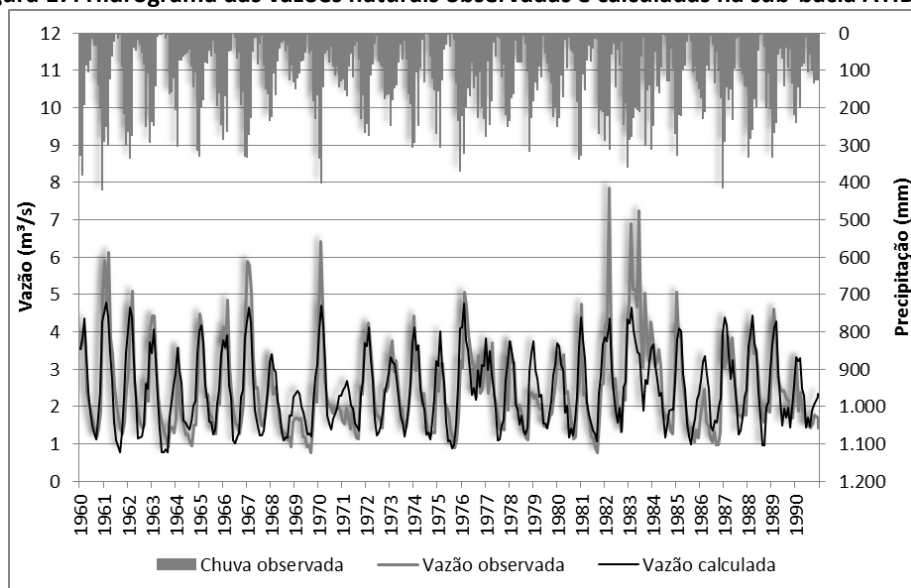
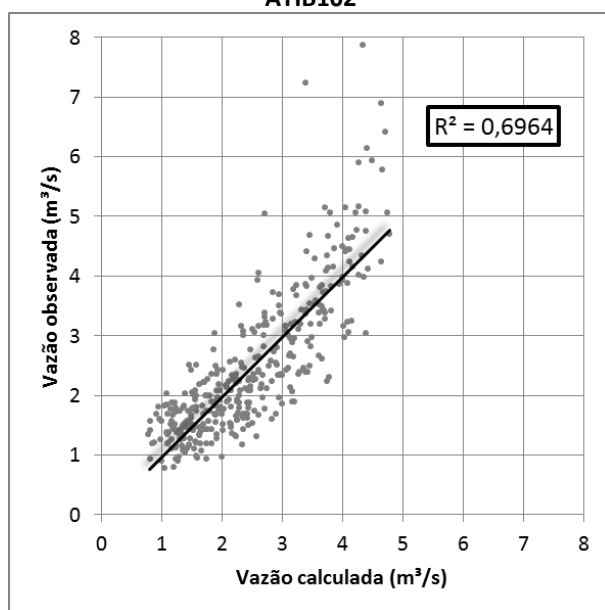


Figura 18: Coeficiente de determinação entre as vazões calculadas e observadas para a sub-bacia ATIB102



3 SIMULAÇÃO SSD PCJQ

Os cenários de demanda e lançamento são divididos em três grupos: domésticos, industrial e irrigação. Sendo que o lançamento proveniente da demanda doméstica pode ser na forma de esgoto tratado ou não tratado e não há retorno por parte da irrigação. Os dados extrapolados para o ano de 2050 das demandas hídricas nas bacias PCJ estão agrupados por municípios na Tabela 2.

Tabela 2: Dados das demandas nas bacias PCJ

Município	PopUrban a (hab)	Consumo per capita (L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)	Índice de perda s	Índice de colet a	Índice tratamento	Eficiência tratamento	Demanda indust. (m ³ .s ⁻¹)	Lançamento industrial (m ³ .s ⁻¹)	Carga indust. (kg.dia ⁻¹)	Demanda irrigação (L.s ⁻¹)
Camanducaia	18265	248	0,37	0,55	0	0	0,07	0,02	0	20,28
Extrema	30985	248	0,37	0,89	0	0	0,01	0	18,3	66,38
Itapeva	5122	245	0,37	0,49	0	0	0,13	0,01	0	14,37
Sapucaí-Mirim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,77
Toledo	2586	203	0,37	0,86	0	0	0	0	0	15,43
Águas de S. Pedro	3318	209	0,35	1	0	0	0	0	0	12,33
Americana	256940	220	0,32	0,95	0,85	0,55	0,31	0,16	307,76	64,74
Amparo	60846	215	0,4	0,89	0,12	0,82	0,26	0,29	1957,92	122,7
Analândia	4157	245	0,37	0,94	0,94	0,82	0,06	0	0	58,06
Anhembi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,61
Artur Nogueira	49682	222	0,38	1	0	0	0,04	0,04	33,32	474,14
Atibaia	142811	224	0,41	0,67	0,5	0,9	0,02	0,05	340,09	47,2
Bom J. dos Perdões	20425	248	0,37	0,75	0	0	0,06	0,01	76,69	674,51
Botucatu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,06
Bragança Paulista	174465	232	0,39	0,86	0	0	0,11	0,1	239,77	126,95
Cabreúva	32072	205	0,43	0,64	0,64	0,52	0,04	0,04	30,16	179,69
Campinas	1238251	219	0,26	0,88	0,7	0,86	0,04	0,12	219,02	13,38
Campo Limpo Pta	92421	190	0,5	0,54	0	0	0,06	0,05	33,43	22,67
Capivari	45064	197	0,45	0,94	0,24	0,84	0,37	0,37	36,61	12
Charqueada	16773	256	0,35	0,85	0,82	0,8	0	0	0	560,3
Cordeirópolis	23292	283	0,28	0,82	0,08	0,82	0,03	0,02	36,43	19,38
Corumbataí	2562	203	0,37	1	1	0,8	0	0	0	23,95
Cosmópolis	67955	215	0,4	0,93	0	0	0,82	0,51	312,31	11,74
Dois Córregos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	89,39
Elias Fausto	15552	179	0,55	0,92	0,92	0,89	0,2	0,11	43,22	28,25
Eng. Coelho	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44,79
Holambra	8574	245	0,37	0,91	0	0	0	0	0	8,15
Hortolândia	242845	165	0,49	0,35	0,35	0,82	0,01	0,02	39,26	144,45
Indaiatuba	171938	173	0,46	0,96	0,92	0,81	0,03	0,02	17,76	9,19
Ipeúna	5517	245	0,37	0,96	0,96	0,58	0	0	0	26,9
Iracemápolis	24172	249	0,37	1	1	0,85	0,32	0	0	103,7
Itatiba	100660	202	0,47	0,72	0,68	0,8	0,15	0,18	281,36	81,9
Itirapina	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14,14
Itu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,56
Itupeva	41757	219	0,39	0,8	0,39	0,82	0,01	0,01	49,03	52,54
Jaguariúna	44199	219	0,39	0,95	0,29	0,99	0,15	0,09	73	106,71
Jarinu	23017	225	0,43	0,3	0,3	0,79	0,06	0,13	492,98	23,47
Joanópolis	14604	295	0,25	0,7	0,67	0,78	0	0	0	226,92
Jundiaí	420018	222	0,37	1	1	0,95	0,3	0,01	6,25	1529,59
Limeira	324244	270	0,16	1	1	0,44	2,03	1,17	1359,93	17,08
Louveira	44773	226	0,37	0,9	0	0	0,1	0,1	268,02	5,81
Mairiporã	8010	182	0,52	0,57	0,35	0,85	0	0	0	0
Mogi-Mirim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,42
Mombuca	3287	158	0,51	0,9	0,9	0,63	0	0	0	52,1
Mt Alegre do Sul	5067	245	0,37	0,92	0	0	0,04	0,04	900,85	81,82
Monte Mor	57369	184	0,49	0,41	0,41	0,8	0	0,01	1,32	23,45
Morungaba	12473	191	0,51	0,82	0,82	0,83	0	0	0	49,96
Nazaré Paulista	17256	205	0,48	0,46	0,28	0,84	0	0	0	24,41
Nova Odessa	62605	208	0,42	0,93	0,04	1	0,08	0,06	299,59	78,89
Paulínia	103416	195	0,49	0,9	0,86	0,8	4,56	3,55	2794,92	49,34
Pedra Bela	1783	264	0,18	0,94	0	0	0	0	38,65	28,71
Pedreira	51466	208	0,42	0,97	0,07	0,82	0,05	0,03	12,09	35,52
Pinhalzinho	8002	241	0,38	0,8	0,68	0,86	0	0	0	77,6
Piracaia	31100	228	0,42	0,56	0,17	0,96	0,02	0,01	118,39	97,93
Piracicaba	422799	176	0,5	0,98	0,71	0,8	1,14	1,24	4897,69	43,13
Rafard	9254	253	0,35	0,9	0	0	0,65	0,58	50,34	22,48
Rio Claro	221699	203	0,37	0,99	0,85	0,8	0,03	0	34,43	13,42
Rio das Pedras	35168	218	0,45	1	0	0	0,08	0,03	15,47	4,37
Saltinho	7292	250	0,36	0,96	0,93	0,9	0	0	0	11,08
Salto	127687	228	0,4	0,98	0,85	0,84	0,43	0,15	31795	2,29
S. Bárbara d'Oeste	218174	251	0,22	0,9	0,66	0,95	0,27	0,03	144,33	1,09
Santa Gertrudes	26502	236	0,4	1	1	0,82	0	0	0	0,47
Sta Maria da Serra	5841	327	0,16	1	1	0,8	0	0	0	136,67
S. Antônio de Posse	23338	253	0,36	0,9	0,9	0,82	0,01	0	0	6,08
São Pedro	32790	228	0,42	0,95	0	0	0,05	0,02	0	101,81
Serra Negra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38,73
Socorro	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26,27
Sumaré	280521	132	0,59	0,88	0,13	0,98	0,02	0,02	72,63	28,86
Tietê	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,7
Torrinha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29,68
Tuiuti	3703	299	0,07	0,35	0	0	0	0	0	240,93
Valinhos	126683	262	0,31	0,9	0,9	0,92	0,08	0,06	80,95	34,1
Vargem	4755	210	0,46	0,68	0,08	0,82	0	0	0	6,73
Várzea Paulista	133398	185	0,51	0,79	0,06	0,82	0,06	0,02	0	15,48
Vinhedo	74910	213	0,44	0,92	0,92	0,95	0,05	0,06	958,18	10,99

As Equações 10, 11 e 12 apresentam o cálculo das demandas Domesticas, vazão do esgoto gerado e carga deste esgoto, respectivamente.

$$demTotSup = \frac{capSup \times popUrb \times conPerCap}{1 - indPer} \times \frac{1}{86400000} \quad (10)$$

$$vazEsgGer = popUrb \times conPerCap \times coefRet \times \frac{(1 - indPer \times (1 - indPerNaoFis))}{(1 - indPerNaoFis)} \times \frac{1}{8400000} \quad (11)$$

$$carDBOEsgGer = \frac{popUrb \times carDBOperCap}{1000} \quad (12)$$

Onde:

- popUrb: População urbana (hab);
- conPerCap: Consumo médio per capita de água (L/hab/dia);
- capSup: Capitação superficial (%);
- indPer: Índice de perdas (%);
- indPerNaoFis: Índice de perdas não físicas, vulgo “gato” (% sobre índice de perdas);
- demImp: Demanda de importação (m³/s);
- coefRet: Coeficiente de retorno de esgoto (%);
- carBDOperCap: Carga de DBO per capita (g/hab/dia);
- demTotSup: Demanda total de água superficial (m³/s);
- vazEsgGer: Vazão de esgoto gerado (m³/s); e
- carDBOEsgGer: Carga de DBO do esgoto gerado (m³/s):

As Equações 13, 14, 15 e 16 apresentam o cálculo da vazão e carga de esgoto tratado e carga do não tratado, porém coletado, e carga do esgoto não coletado.

$$vazEsgTra = vazEsgGer \times indTra \quad (13)$$

$$carEsgTra = indTra \times carDBOEsgGer \times (1 - efiTra) \quad (14)$$

$$carEsgNaoTra = (indCol - indTra) \times carDBOEsgGer \times remNaoTra \quad (15)$$

$$carEsgNaoCol = (1 - indCol) \times carDBOEsgGer \times remNaoCol \quad (16)$$

Onde:

- indCol: Índice de coleta, coletado/gerado (%);
- indTra: Índice de tratamento, tratado/gerado (%);
- efiTra: Eficiência do tratamento, remoção de DBO (%);
- remNaoTra: Remanescente coletado e não tratado (%);
- remNaoCol: Remanescente do esgoto não coletado (%);
- vazEsgExp: Vazão de esgoto exportado (m³/s);
- carEsgExp: Carga do esgoto exportado (kg/dia);
- vazEsgTra: Vazão esgoto tratado total (m³/s);
- carEsgTra: Carga de esgoto tratado total (kg/dia);
- carEsgNaoTra: Carga de esgoto coletado e não tratado (kg/dia);
- carEsgNaoCol: Carga de esgoto não coletado (kg/dia).

A demanda de Irrigação é calculada partir da Equação 17.

$$demIrrTot = \frac{arealIrrig \times demUni \times parSup}{1000} \quad (17)$$

Onde:

- arealIrrig: Área irrigada na bacia (ha);
- demUni: Demanda unitária (L/s/ha);
- parSup: Parcela superficial (%);
- demIrrTot: Demanda irrigada total (m³/s).

O SSD PCJq permite otimizar a alocação e simular a qualidade da água num conjunto de bacias utilizando como base de modelagem o Modelo de Redes de Fluxo AcquaNet. O modelo otimiza quantitativamente o sistema atribuindo prioridades de captação aos diversos usuários do sistema. O modelo realiza análises qualitativas através de uma formulação analítica, capaz de determinar as concentrações de diversos parâmetros de qualidade da água, tais como temperatura, DBO, OD, coliformes totais, fósforo total, algas, nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato, em diversos pontos ao longo dos rios que compõem uma bacia.

O modulo de alocação de água responsável pelo balanço hídrico utiliza o algoritmo de otimização Out-of-Kilter para minimizar o “custo” de alocação de água na rede e maximizar os benefícios associados ao seu uso. O problema de otimização é apresentado na Equação 18:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (C_{ij} Q_{ij}) \quad (18)$$

Sujeito a:

- balanço de massa em todos os nós $j=1, \dots, N$ – REDE CONSERVATIVA, isto é,

$$\sum_{i \in I_j} Q_{ij} - \sum_{k \in O_j} Q_{ik} = 0 \quad (19)$$

- vazões mínimas e máximas em todos os arcos (i,j) , para todos $i, j = 1, \dots, N$, - REDE CAPACITADA, ou seja,

$$I_{ij} \leq Q_{ij} \leq S_{ij} \quad (20)$$

Sendo Q_{ij} = vazão que transita do nó i ao nó j ; C_{ij} = custo (prioridade) da unidade de vazão que transita entre os nós i e j , N = número total de nós de rede; I_{ij} = limite inferior da vazão no arco ij ; S_{ij} = limite superior da vazão no arco ij e I_j = conjunto de todos os nós com arcos que terminam no nó j ; ($i \in I_j$ todos os nós i que pertencem ao conjunto I_j) e O_j = ao conjunto de todos os nós com os arcos que se originam no nó j .

O módulo de qualidade foi desenvolvido por (TEIXEIRA, 2004) e é uma ferramenta computacional capaz de gerenciar de forma integrada os aspectos de quantidade e qualidade de água em uma bacia hidrográfica. Este módulo é capaz de determinar as concentrações de diversos parâmetros de qualidade de água em diversos pontos ao longo dos rios que compõem uma bacia.

A solução para o módulo de qualidade se dá através de um método analítico que consiste na utilização das fórmulas de decaimento exponencial. A formulação básica fornece a concentração em função do tempo, como demonstra a equação:

$$C = C_0 e^{\lambda t} \quad (21)$$

Vale lembrar que a parcela tempo (t) pode ser substituída pelo comprimento do segmento (x) dividido pela velocidade (U). A formulação analítica resulta de uma simplificação na equação de balanço de massa relacionado à conservação de massa e às reações cinéticas:

$$V \frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial \left(A_c E \frac{\partial c}{\partial x} \right)}{\partial x} dx - \frac{\partial (A_c U c)}{\partial x} dx + V \frac{dc}{dt} + S \quad (22)$$

Acumulação = Dispersão – Advecção + Reações Cinéticas + Fontes Externas

Onde: V = volume; Ac = Área do canal; E = coeficiente de dispersão; c = concentração do poluente; U = velocidade média; x = distância; S = fontes externas.

O detalhamento das simplificações consideradas foi apresentado por (PORTO, ROBERTO, *et al.*, 2003).

As reações cinéticas dos constituintes OD (oxigênio dissolvido) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), relacionadas no módulo de qualidade, podem ser representadas matematicamente pelas Equações 23 e 24.

$$\frac{do}{dt} = k_a(o_s - o) - k_d L - \frac{SOD}{H} + (Pk_g - Rk_{ra})A - r_{oa}k_{ai}N_a - r_{oi}k_{in}N_i \quad (23)$$

A equação do OD relaciona a demanda de oxigênio referente à DBO e à NDBO (DBO referente ao nitrogênio oxidável, que é a concentração do nitrogênio orgânico somada a da amônia), além dos efeitos de crescimento e respiração das algas relacionados a fotossíntese em função dos parâmetros de luz e do nutriente limitante.

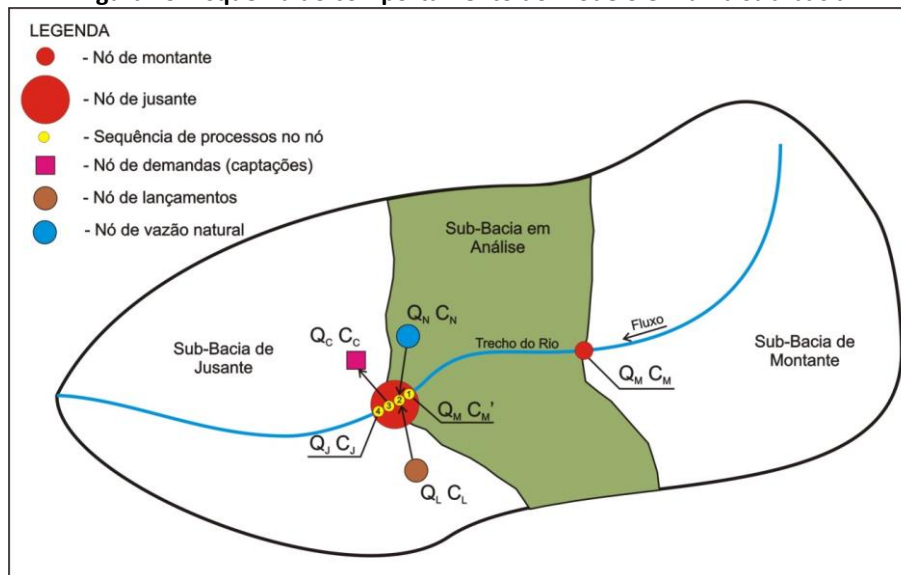
$$\frac{dL}{dt} = -k_d L - k_s L \quad (24)$$

Os parâmetros das equações acima são apresentados a seguir:

- kd: taxa de decomposição da DBO[d-1];
- ka: taxa de reaeração;
- ks: taxa de sedimentação da DBO[d-1];
- SOD: demanda de oxigênio no sedimento pela DBO [g m-2 d-1];
- O: concentração de oxigênio dissolvido presente no corpo d'água [mg L-1];
- Os: concentração de saturação do oxigênio dissolvido, obtido em função da temperatura [mgL-1];
- kg: taxa de crescimento das algas [d-1];
- kra: taxa de perda de biomassa de algas devido o processo de respiração [d-1];
- H: profundidade média do rio no trecho considerado, obtida pela equação de Manning [m];
- roa: razão estequiométrica do oxigênio em razão da amônia [gO gN-1];
- roi: razão estequiométrica do oxigênio em razão da nitrito [gO gN-1];
- P: razão de fotossíntese;
- R: razão de respiração;
- kai: taxa de transformação da amônia em nitrito;
- kin: taxa de transformação de nitrito em nitrato.

A estruturação do modelo no SSD PCJq utiliza um conjunto de sub-bacias predefinidas como unidade para discretização. Isso significa que todas as demandas, lançamentos e demais informações são agrupadas por sub-bacia. A Figura 19 esquematiza o comportamento do modelo para uma sub-bacia do sistema.

Figura 19: Esquema do comportamento do modelo em uma sub-bacia



Onde:

- Q_M : vazões de montante da sub-bacia, provenientes do acumulo das vazões de jusante das sub-bacias de montante;
- C_M : concentrações das vazões de montante, provenientes das concentrações resultantes das sub-bacias de montante;
- C_M' : concentrações das vazões de montante decaídas ao longo do trecho do rio;
- Q_N : vazões naturais da sub-bacia, proveniente dos escoamentos superficiais e subterrâneos;
- C_N : concentrações das vazões naturais da sub-bacia, provenientes dos usos dos solos;
- Q_L : vazões de lançamentos na sub-bacia, provenientes de retornos de captações, esgotos, indústrias, etc;
- C_L : concentrações dos lançamentos na sub-bacia;
- Q_C : vazões de captações, provenientes dos atendimentos das demandas;
- C_C : concentrações das captações;
- Q_J : vazões de jusante da sub-bacia, provenientes do resultado do balanço hídrico da sub-bacia;
- C_J : concentrações de jusante.

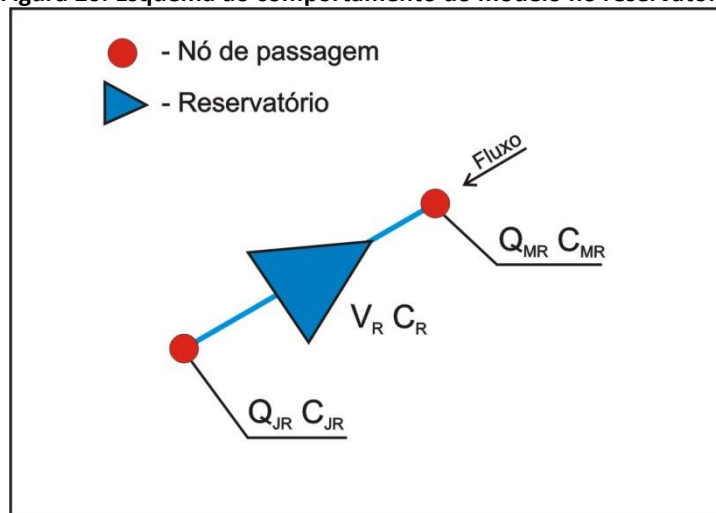
As vazões da sub-bacia de montante se propagam para jusante na seguinte seqüência:

1. No primeiro estágio são calculadas as vazões (Q_M) e as concentrações (C_M) de montante, que equivalem, respectivamente, às vazões na entrada da sub-bacia propagadas pelo trecho do rio e às concentrações dos parâmetros da análise considerando os decaimentos das concentrações calculados pelo modelo de qualidade da água;
2. No segundo estágio são calculadas e adicionadas as vazões (Q_N) e as concentrações (C_N) oriundas das vazões naturais geradas na bacia com pré-determinados usos dos solos, em mistura instantânea completa. Na continuação deste estágio são acrescidas as vazões (Q_L) e as concentrações (C_L) dos lançamentos, também através de mistura instantânea completa;

3. No terceiro estágio, são retiradas as vazões (Q_c) com as concentrações (C_c) das captações, como resultado dos atendimentos ou não das demandas, as quais têm associadas um valor de prioridade, definido no modelo, e que serão atendidas conforme otimização da disponibilidade hídrica da rede. .
4. No quarto estágio são determinadas as vazões (Q_j) e as concentrações (C_j) propagadas para a bacia de jusante.

O comportamento do modelo para os reservatórios é apresentado na Figura 20.

Figura 20: Esquema do comportamento do modelo no reservatório



Onde:

- Q_{MR} : vazões de montante ao reservatório, proveniente das vazões de jusante da sub-bacia;
- C_{MR} : concentração de montante ao reservatório;
- V_R : volume do reservatório no início da simulação;
- C_R : concentração do reservatório no início da simulação;
- Q_{JR} : vazão de jusante ao reservatório, proveniente da sua operação;
- C_{JR} : concentração de jusante ao reservatório, proveniente de mistura instantânea completa.

O modelo operará os reservatórios a partir da curva cota-área-volume e uma prioridade atribuída ao volume meta a ser atingido. Esta prioridade competirá com as demais demandas do sistema. O modelo não calcula o abatimento de carga no interior do reservatório, considerando apenas o balanço entre cargas através de uma mistura completa.

4 CENÁRIOS

Os cenários de vazões são compostos por:

- Hist: vazões históricas no período entre 1930 e 2003, mesma série utilizada para no plano das bacias PCJ;
- RCP45: vazões futuras RCP4.5 no período entre 2015 e 2095, estimadas pelo modelo chuva-vazão desenvolvido neste estudo a partir da previsão de chuvas do modelo Eta/HadGEM2-ES do INPE para os cenários de emissão RCP4.5; e
- RCP85: vazões futuras RCP8.5 no período entre 2015 e 2095, estimadas da mesma forma para os cenários de emissão RCP8.5.

5 REFERÊNCIAS

LI, H.; SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F. Bias correction of monthly precipitation and temperature fields from Intergovernmental Panel on Climate Change AR4 models using equidistant quantile matching. *Journal of Geophysical Research*. 2010.

PORTO, R. et al. Sistema de suporte a decisão para análise de sistemas de recursos hídricos. In: SILVA, R. *Métodos Numéricos em Recursos Hídricos*. Porto Alegre: ABRH, v. 6, 2003. Cap. 2, p. 93-240.

SILVEIRA, C. et al. Verificação das previsões de tempo para precipitação usando ensemble regional para o estado do Ceará em 2009. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.26, n.4, p. 609-618. 2011.

TEIXEIRA, C. A. Gerenciamento Integrado de Quantidade e Qualidade de Água. Tese (Doutorado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. São Paulo. 2004.

ANEXO 2 – DESCRIÇÃO E ANÁLISE DAS MEDIDAS ADAPTATIVAS

PARTE INTEGRANTE DO PRODUTO 3.0 - RELATÓRIO DA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA CUSTO/BENEFÍCIO (ECONOMICS OF CLIMATE ADAPTATION)

O presente documento trata-se do Anexo 2 do PRODUTO 3.0 - Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (*Economics of Climate Adaptation*) em região e setor acordados, conforme previsto no Plano de Ação (Produto 1) do Contrato Administrativo Nº 001 /2012, Processo Nº 02000.001975/2011-41 do Ministério do Meio Ambiente (MMA)

SUMÁRIO

1	Introdução	3
2	Medidas Adaptativas avaliadas segundo Análise Custo Benefício.....	4
2.1	(A) Construção de barragens e adutoras	4
2.2	(B) Transposição de bacias	7
2.3	(C) Aumento de eficiência da rede de distribuição	9
2.4	(D) Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto.....	12
2.5	(E) Reúso de águas cinzas em residências.....	15
2.6	(F) Aproveitamento residencial de água de chuva.....	19
2.7	(G) Incentivos econômicos para o uso racional de água.....	23
2.8	(H) Aumento na tarifa de água.....	27
2.9	(I) Aumento do valor da outorga para indústria	33
2.10	(J) Aumento de eficiência na demanda de irrigação.....	40
3	Medidas adaptativas combinadas.....	47
3.1	(A+I) Construção de barragens e adutoras + Aumento do valor da outorga para indústria	48
3.2	(C+D) Aumento de eficiência da rede de distribuição+ Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto.....	49
3.3	(D+E) Ampliação do sistema de coleta e tratamento de esgoto+Reúso de águas cinzas em residências.....	50
4	Medidas adaptativas analisadas de maneira qualitativa	51
4.1	(k) Outras alternativas para irrigação.....	51
4.2	(l) Adoção de práticas conservacionistas	52
4.3	(m) Campanhas de conscientização	56
4.4	(n) Adoção de tecnologias de reúso de água industrial	58
4.5	(o) Medidas na indústria não relacionadas ao processo produtivo.....	60

1 INTRODUÇÃO

Esse anexo visa complementar as informações dispostas na seção 8.2 do “Produto 3- Produto 3.0 - Relatório da aplicação de metodologia custo/benefício (*Economics of Climate Adaptation*)”.

Esse documento apresenta de forma detalhada as medidas adaptativas e os resultados da simulação de aplicação das mesmas na Bacia PCJ. Primeiramente são descritas as medidas que foram avaliadas segundo a Análise Custo Benefício – ACB. Para tanto, a simulação de aplicação das medidas foi feita de duas maneiras: no primeiro momento as medidas foram simuladas individualmente e sua influência na quantidade e/ou qualidade da água da Bacia do PCJ analisada. No segundo momento foram feitas combinações de duas medidas, que foram simuladas como se fossem implementadas conjuntamente, no mesmo período de tempo.

Além disso, o documento traz uma breve descrição de outras medidas adaptativas que não foram avaliadas segundo a Análise Custo Benefício por conta da sua complexidade, mas são importantes alternativas para um cenário de escassez hídrica e diminuição da qualidade da água.

2 MEDIDAS ADAPTATIVAS AVALIADAS SEGUNDO ANÁLISE CUSTO BENEFÍCIO

2.1 (A) CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS E ADUTORAS

Objetivo da medida

Aumentar a capacidade de reservação de água do sistema, a fim de aumentar a confiabilidade e atender a demanda hídrica dos usuários.

Descrição geral da medida

Barragem é uma barreira artificial construída em um curso de água para retenção/represamento de grandes volumes de água. São construídas desde a antiguidade, com o objetivo de reduzir o impacto dos períodos de estiagem e cheia, através do armazenamento de grandes quantidades de água das chuvas e da vazão do rio, onde a barragem está localizada.

Esse armazenamento possui múltiplos usos finais, como consumo humano, irrigação, fornecimento de água para indústria, produção de energia, dessedentação de animais etc.

Apesar dos benefícios oriundos da construção de barragens, existem impactos negativos do ponto de vista socioambiental, tais como a modificação no balanço hídrico, o aumento da superfície de evaporação e o deslocamento compulsório de população.

Aplicação no estudo

No contexto do estudo, foram analisados propostas e projetos de construção de barragens já existentes para a bacia do PCJ, a fim de escolher uma como medida.

Verificou-se que, em virtude do aumento de vazão outorgada no rio Jaguari de 1.870 m³/h para 2.400 m³/h, a partir de 2009 para a Refinaria de Paulínia (Replan), o Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE), em parceria com o Comitê PCJ, elaborou um programa de ações que deve ser implementado na área de influência da Refinaria.

Dentre as ações programadas, destaca-se a elaboração de um estudo feito pela (ENGEORPS, 2008) (2008) para identificar áreas potenciais para construção de barragens e adutoras na bacia PCJ. O estudo identificou sete eixos barráveis possíveis:

- Panorama e Pedreira no rio Jaguari, a montante da confluência com o rio Camanducaia;
- Rubinho, Duas Pontes e Camanducaia no rio Camanducaia;
- Cosmópolis, no rio Jaguari, a jusante da confluência com o rio Camanducaia;
- Pirapitingui, no Ribeirão Pirapitingui, afluente do rio Jaguari em Cosmópolis, a jusante da foz do Camanducaia.

Os estudos hidrológicos elaborados mostraram que a operação conjunta dos reservatórios de Duas Pontes no rio Camanducaia e Pedreira no rio Jaguari, resultariam em ganhos na disponibilidade hídrica entre 7,0 e 11 m³/s, tendo como base a Q95%, a maior entre os eixos barráveis estudados.

Em relação ao impacto na qualidade da água, a operação conjunta dos reservatórios de Duas Pontes no rio Camanducaia e Pedreira no rio Jaguari apresentaram a maior influência na

qualidade da água no ponto de captação da Replan, com uma redução na DBO de 0,6 mg/L ou 14% em relação a 2007 (ENGEORPS, 2008).

Através desse estudo, os reservatórios de Duas Pontes no rio Camanducaia e Pedreira no rio Jaguari, foram identificados como os melhores eixos barráveis possíveis na bacia PCJ e serão, portanto, os considerados nesta medida para fins deste estudo (seus parâmetros técnicos como volume útil e vazão máxima de adução foram obtidos do mesmo).

Influência na vazão

Conforme os estudos finais da (PROJECTUS, 2013) (2013) analisadas séries de vazões médias mensais de 1930 até 2003, que serviram de subsídio para elaboração da vazão de permanência na barragem de Pedreira e Duas Pontes para 95% de probabilidade, as quais serão adotadas.

- Duas Pontes Q95% = 5,40 m³/s
- Pedreira Q95% = 6,30 m³/s
- Vazão total Q95% = 11,70 m³/s

Custo de implementação da medida

Segundo o cronograma geral de construção e montagem elaborado pela PROJECTUS em 2013 a obra da barragem e adutora de Pedreira levará 650 dias para ser concluída enquanto a obra da barragem e adutora de Duas Pontes será concluída em 587 dias. No presente estudo será considerado que as obras levarão 3 anos para serem concluídas em função de possíveis atrasos que podem ocorrer durante a realização do projeto.

Os custos referem-se à construção das barragens e adutoras, e foram cotados a pedido da REPLAN:

- Duas pontes = R\$ 264.502.980 (PROJECTUS, 2013)
- Pedreira = R\$ 348.025.540 (PROJECTUS, 2013)
- Custo total = R\$ 612.528.520.

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida A-Barragem

Custo total da medida (mil R\$)			612.529
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			580.734
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)	RCP 4.5	RCP 8.5	
Abastecimento	50.558	15.688	
Indústria	5.220.303	5.326.581	
Rural - dessedentação	0	0	
Rural - irrigação	113.670	113.670	
Qualidade	-44.524	-9.110	
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)	5.340.006	5.446.829	
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)	0,01	0,01	

2.2 (B) TRANSPOSIÇÃO DE BACIAS

Objetivo da medida

Aumentar o volume de água na área que recebeu a transposição.

Descrição geral da medida

Pode-se definir a transposição de água entre bacias hidrográficas como: “a remoção de água de um sistema de maior superfície drenada para um sistema onde a superfície drenada é menor” (CARVALHO, 2005).

A transposição é feita para suprir as necessidades relacionadas à sua escassez ou aumentar a resiliência da bacia receptora. A transposição em si não constitui um uso, mas propicia os usos múltiplos como, consumo humano, dessedentação animal, usos industriais, geração de energia elétrica entre outros.

Ao longo dos séculos os seres humanos desenvolveram diversas formas de garantir sua demanda hídrica, porém a transposição de águas costuma causar conflitos complexos em função da interação entre pessoas e comunidades, interesses de ordem política e social e necessidade de acordos e contratos.

Para que a transposição seja realizada é necessário elaborar um Estudo de Impactos Ambientais e um relatório de Impactos Ambientais (EIA/RIMA), que leve em consideração a demanda hídrica futura da região doadora para que a mesma não tenha problemas de escassez de água.

Aplicação no estudo

No caso da bacia do PCJ, será adotada a transposição do Jaguari-Atibainha, de acordo com COBRAPE (2013). Nesse estudo foram elaborados alguns cenários com diferentes possibilidades de vazões transferidas através da transposição e seu respectivo custo associado.

Vale ressaltar que esse estudo requer uma análise complementar capaz de avaliar o impacto das retiradas sobre a disponibilidade hídrica da bacia doadora.

Para concretizar a transposição Jaguari-Atibainha são necessárias duas adutoras, a primeira adutora (EE1) leva água do reservatório do Jaguari para o reservatório Pouso Alegre, a segunda adutora (EE2) transporta água de Pouso Alegre para o reservatório de Atibainha.

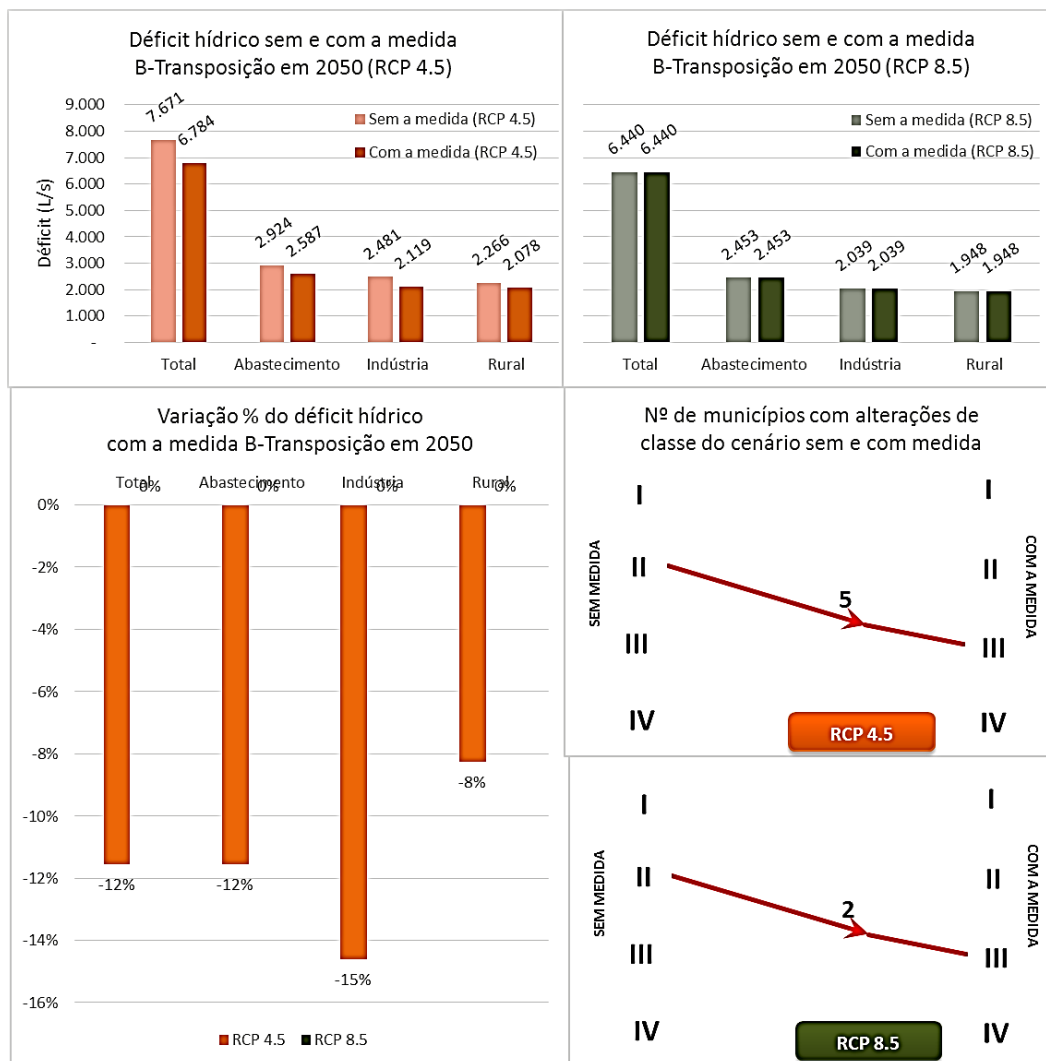
Influência na vazão

Considerando os cenários propostos no Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista(2013), em que são apresentados diferentes arranjos possíveis de vazão, optou-se pelo arranjo que possui a melhor relação entre o custo de implementação e a vazão disponível. Portanto, a vazão transferida para o reservatório de Atibainha será de 5,13 m³/s.

Custo de implementação da medida

A Secretária de Saneamento e Recursos Hídricos de São Paulo estima que a conclusão da transposição do Jaguari-Atibainha se dará 14 meses após o início das obras. No estudo será considerado o prazo de dois anos, iniciados em 2015, para contemplar eventuais atrasos. O custo de implementação da medida é de R\$ 479.027.510,00.

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida B-Transposição		
Custo total da medida (mil R\$)		479.028
Custo total da medida em VPL (mil R\$)		458.507
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)	RCP 4.5	RCP 8.5
Abastecimento	70.579	0
Indústria	165.355	0
Rural - dessedentação	0	0
Rural - irrigação	0	0
Qualidade	0	0
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)	235.933	0
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)	0,15	NA

2.3 (C) AUMENTO DE EFICIÊNCIA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Objetivo da medida

Diminuir as perdas de água na rede de distribuição, aumentando, assim, a disponibilidade hídrica.

Descrição geral da medida

Diminuir a perda de água durante a distribuição é um objetivo constante na gestão de demanda. Em resumo, a perda de água é classificada como todos os consumos não autorizados que determinam aumento no custo de funcionamento ou que impedem a realização plena da receita operacional. Englobam:

- As Perdas Reais (Físicas): originam-se de vazamentos no sistema, em redes, ramais e acessórios, bem como extravasamentos em reservatórios.
- As Perdas Aparentes (Não Físicas): originam-se de consumos não autorizados, problemas no cadastro e faturamento, bem como imprecisão dos equipamentos de micromedição.

O Índice de Perdas na Distribuição (IPD) é uma ferramenta importante para determinar quantitativamente as perdas físicas, sendo um indicador importante para os municípios que possuem um plano operacional de redução de perdas na distribuição.

Um plano de ação municipal ou estadual que tenha como objetivo reduzir as perdas na rede deve incorporar as seguintes ações:

- *Perdas Reais*: pesquisa e reparo de vazamentos não visíveis; estanqueidade de reservatórios; setorização de redes, sistemas de controle de pressão e modelagem hidráulica; renovação de redes e ramais;
- *Perdas Aparentes*: cadastro de consumidores; micromedição; detecção e combate a fraudes;
- *Ações Estruturantes e Gerenciais*: adequação da macromedição; gestão informatizada; cadastro técnico de redes; otimização das rotinas operacionais.

Cada ação supracitada deve ser dividida em um horizonte de curto, médio e longo prazo com a delimitação das metas do plano e o custo para execução das mesmas (COBRAPE, 2013).

Aplicação no estudo

O IPD é o parâmetro mais utilizado para avaliar as perdas no sistema de distribuição de água. No caso da Bacia do PCJ esse número é em média de 37% (COBRAPE, 2013), ou seja, a cada 1000 litros de água tratada 370 litros são perdidos no sistema de distribuição antes de chegarem ao seu local de destino; em toda a Bacia PCJ a perda anual de água no sistema de distribuição é de 187.379 mil m³.

Baseado em algumas experiências de redução do IPD de municípios que desenvolveram programas de longo prazo, tais como Limeira, que passou de um IPD de 64% para 16% após dez anos, e Campinas que em quinze anos reduziu o IPD de 37,7% para 21,8%, foi possível estabelecer uma meta de redução a fim de atingir o valor de pelo menos 20% de IPD em todos os municípios da Bacia PCJ de acordo com o ritmo de redução proposto na tabela seguinte.

Ritmo de redução de perdas.

Meta de IPDFinal	Nível de IPDInicial	Ritmo de Redução
IPDFinal = 20%	IPD $\geq$ 40%	20% a cada 5 anos
	40% < IPD > 25%	15% a cada 5 anos
	25% $\leq$ IPD > 20%	10% a cada 5 anos
	IPD $\leq$ 20%	Manutenção

Fonte: Adaptado (COBRAPE, 2013).

Para que o ritmo de redução seja alcançado, foi elaborado um programa de redução de perdas que contempla ações de redução aparentes, reais e estruturantes.

O programa de redução de perdas foi alinhado com o plano de investimentos de forma a aplicar as ações no curto, médio e longo prazo obtendo uma melhora contínua na rede de distribuição de água.

Considerou-se, baseado no Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista (2013) que as ações iniciam-se com efetiva redução sobre o IPD dois anos após o início dos investimentos.

De acordo com o ritmo de redução proposto os municípios da Bacia PCJ atingiriam, na sua totalidade, a meta de 20% de IPD após 30 anos do início dos investimentos, com a manutenção dos índices dos municípios que já possuíam IPD inferior a 20%.

Influência na vazão

Através do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) é possível obter o IPD atual dos municípios pertencentes à Bacia PCJ. Seguindo a meta de redução de IPD e obedecendo ao ritmo de redução proposto haverá uma maior oferta de água no sistema.

Quantitativamente, tem-se que a demanda superficial para uso doméstico em 2050, que seria de 1,93 milhão de m³/dia, é reduzida para 1,5 milhão de m³/dia. A redução da demanda de água se traduz em significativos 28,6% do total a ser demandado. Para se compreender a magnitude de tal medida, tem-se que a economia anual em 2050 seria de 428 mil m³/dia, equivalente a 156 milhões de m³ por ano.

Custo de implementação da medida

Baseado no Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista de 2013 (COBRAPE, 2013), o investimento total para implantação da medida seria de R\$ 11.088.381.000, cujo ritmo de completude será de 32 anos, ou seja, resulta em investimentos entre 2015 a 2047.

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida C-Redução de perdas

Custo total da medida (mil R\$)			11.088.381
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			7.281.260
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)	RCP 4.5	RCP 8.5	
Abastecimento	265.912	194.386	
Indústria	912.236	574.772	
Rural - dessedentação	1.826	0	
Rural - irrigação	4.391	4.391	
Qualidade	1.665	3.251	
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)	1.186.029	776.799	
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)	0,47	0,72	

2.4 (D) AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO

Objetivo da medida

Aumentar a qualidade da água, por meio do aumento do sistema de coleta e tratamento de efluentes.

Descrição geral da medida

O desenvolvimento de regiões urbanas leva à saturação dos recursos hídricos, seja pela escassez do recurso por conta do aumento da demanda, seja pelo excessivo despejo de esgoto e dejetos industriais. A ampla coleta e tratamento desse esgoto colaboram para a redução do impacto causado pelo despejo de efluentes e, conseqüentemente, para uma melhora na qualidade da água a jusante. Além de ser uma medida relacionada à saúde pública e à qualidade ambiental da bacia, a medida colabora no enquadramento dos corpos d'água segundo a resolução CONAMA 357 de 17 de Março de 2005.

Aplicação no estudo

Sendo assim, a Bacia do PCJ tem previsto um orçamento em nível municipal assegurado para a expansão da rede de coleta e tratamento de esgoto além de metas assumidas pelas empresas concessionárias de saneamento básico que atendem a região.

A análise da medida no estudo considerou o proposto pelo Plano de Bacias para um cenário de aumento da coleta e tratamento de esgoto com base nos recursos financeiros assegurados para tal na Bacia. A aplicação hipotética desses recursos foi realizada com base em um sistema de pontuação para definir a quantidade de recursos que seriam alocados em cada município (COBRAPE, 2014).

Esse ranking considerou entre outros parâmetros, a predisposição municipal na condução de projetos, a necessidade de verbas além do montante assegurado para a universalização do tratamento de esgoto, população não atendida pelos serviços de coleta e tratamento, e a influência do tratamento de esgoto do município na melhora da qualidade da água em seções estratégicas da bacia, considerado o parâmetro mais importante.

Desta forma, os valores percentuais de aumento do sistema de coleta e tratamento de esgoto utilizados nesse estudo, são proporcionais ao recurso assegurado na Bacia aplicado para esse uso em cada município de forma linear para os próximos 8 anos, ou seja, de 2015 a 2022.

Influência na qualidade da água

Os municípios que em 2008 apresentavam índice de eficiência de remoção de DBO acima de 85%, tiveram esse percentual mantido até 2020. Os municípios com valor inferior tiveram o índice substituído por 85%.

Os índices de coleta e tratamento de esgoto respeitaram a alocação de recursos com base na hierarquização dos municípios para 2014. Sendo assim os municípios apresentam diferentes percentuais de coleta e tratamento de esgoto para esse período que variam entre 46% e 90% para ambos os casos.

Para o cenário de 2050 foram estimados tetos de 95% de coleta e tratamento de esgoto gerado, além da manutenção do aumento estabelecido no período anterior.

É válido ressaltar que para ambos os períodos alguns municípios ficaram de fora da análise já que não apresentam recursos assegurados para os períodos selecionados no estudo. Isso explicita que o cenário adotado é conservador, já que, até 2050, há margem para novos investimentos nestes municípios para que os mesmos aumentem suas taxas de coleta e tratamento.

Nesse caso não há influência na vazão, ou seja, na quantidade de água. Vale ressaltar, no entanto, que o aumento da qualidade da água pode acarretar em uma maior disponibilidade hídrica, onde corpos d'água que não tinham qualidade suficiente para certos usos, como abastecimento, passariam a tê-la. Esse efeito não foi considerado na aplicação.

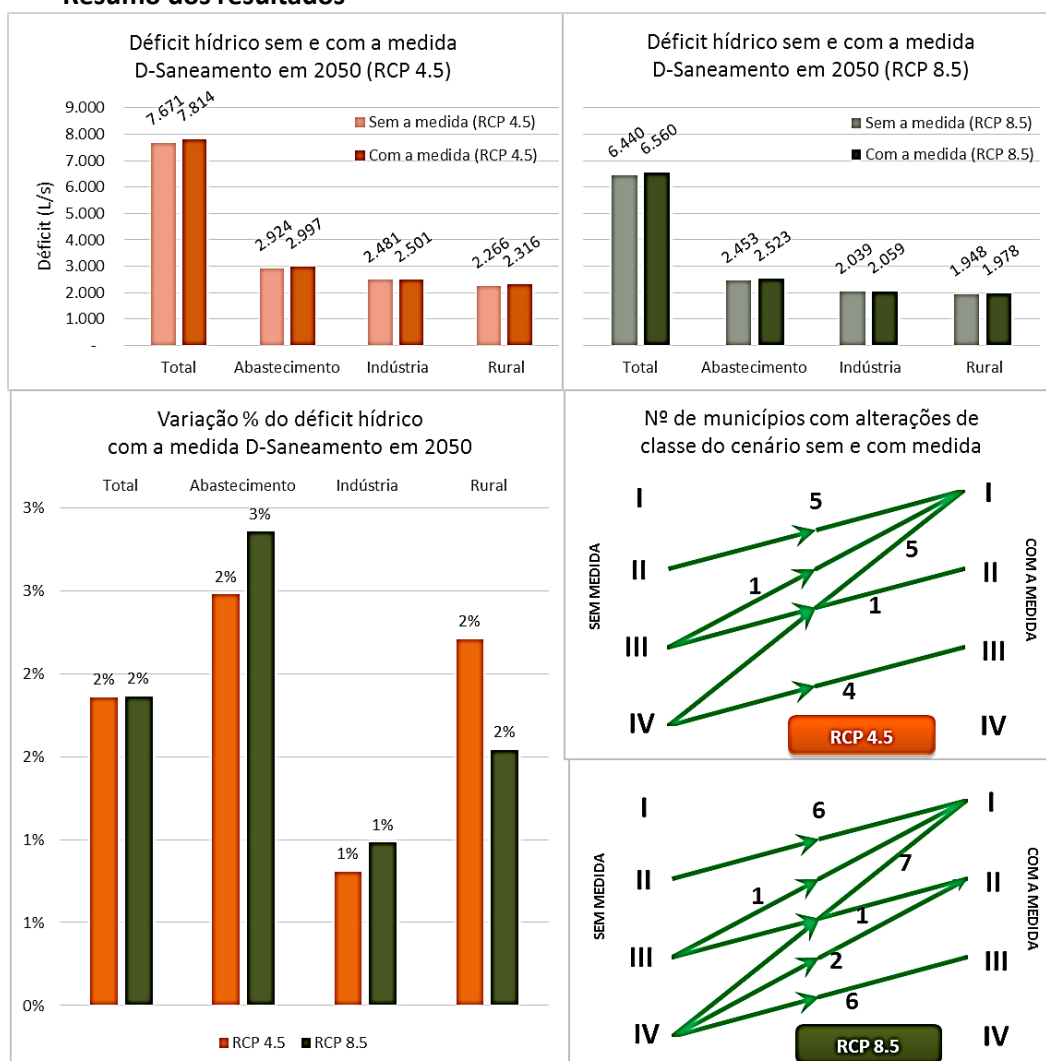
Custo de implementação da medida

Segundo o Programa de Efetivação para Enquadramento da Bacia do PCJ (COBRAPE, 2014), o detalhamento dos recursos assegurados¹ e projetados² foram estendidos para o futuro e distribuídos linearmente durante o período de 2015 a 2022. De acordo com o programa, em 2008, o valor total disponível para a ampliação dos sistemas de coleta e esgoto era de R\$ 1.288.609.422, o qual foi ajustado e considerado nesta aplicação.

¹ Disponibilizados via PAC, deliberações PCJ, Sabesp, Distrital Capivari Jundiaí, DAEE e Convênio Água Limpa.

² Cobrança pelo uso de água, FEHIDRO e Sabesp em alguns municípios.

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida D-Saneamento

Custo total da medida (mil R\$)			1.288.609
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			1.141.273
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)		RCP 4.5	RCP 8.5
Abastecimento		-34.338	-21.154
Indústria		-62.745	-31.994
Rural - dessedentação		0	0
Rural - irrigação		0	0
Qualidade		137.830	339.965
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)		40.747	286.816
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)		2,15	0,31

2.5 (E) REÚSO DE ÁGUAS CINZAS EM RESIDÊNCIAS

Objetivo da medida

Diminuir o consumo residencial de água no vaso sanitário através da utilização de águas cinzas, diminuindo a pressão sobre a demanda de água de abastecimento.

Descrição geral da medida

As águas cinzas podem ser definidas como águas residuais originárias de chuveiros, lavatórios, máquinas e tanques de lavar roupa que podem ser reutilizadas na residência.

O reuso de água não é um conceito novo, porém o cenário futuro de aumento da escassez de água e do aumento da demanda hídrica no mundo tem intensificado estudos e aplicações dessa técnica em diversos setores como indústria, comércio e residência.

Para utilizar sistemas de reuso de águas cinzas é necessário verificar a qualidade e a consequente necessidade de tratar essas águas. Devidamente tratadas as águas cinzas podem ser utilizadas para os aproveitamentos não potáveis de residências como em bacias sanitárias, torneiras de jardins, lavagem de veículos, limpeza de calçadas, entre outros. Pode-se afirmar que cerca de 30% da água utilizada em residências pode ser reutilizada em vasos sanitários (MAY, 2009).

Aplicação no estudo

A distribuição média do consumo de água em uma residência obedece à configuração da tabela seguinte:

Consumo de água nas residências por atividade.

Atividade	Percentual Relativo (%)
Vaso Sanitário	29
Chuveiro	28
Pia da Cozinha	17
Máquina de Lavar louça	9
Lavatório	6
Tanque	6
Máquina de Lavar Roupa	5

Fonte: (MAY, 2009).

Pela análise da tabela é possível identificar que o vaso sanitário é a atividade com a maior demanda hídrica de uma residência, com 29% do total. Por outro lado, essa é uma atividade cuja NBR 13969-97 permite que seja suprida pela utilização de águas cinzas, após tratamento prévio.

Considerando a implantação, de um sistema de reuso de água cinza, em que todo o volume de água necessário para a bacia sanitária é fornecido pelo chuveiro e lavatório, pode-se reduzir em 29% a demanda de água da rede de abastecimento, onde o excedente de água cinza produzido não será contabilizado e atuará para suprir possíveis variações da demanda.

Essa porcentagem seria dificilmente aplicada à base de dados disponível, uma vez que essa agrega outros consumidores, como estabelecimentos comerciais, de serviço e pequenas indústrias - ou seja, o volume de água demandado não é exclusivamente utilizado nas residências. Dessa forma, partindo da hipótese que um indivíduo aciona a válvula de descarga

5 vezes ao dia e que cada acionamento demanda em média 8³ litros de água, temos a demanda per capita para bacia sanitária de 40l/dia (CIRRA/FCTH/DTC ENGENHARIA, 2004).

O sistema é composto por um reservatório capaz de fornecer toda a demanda do vaso sanitário através da utilização de águas cinzas e também de uma bomba para distribuir a água para a casa, tubulações e conexões específicas para o sistema, uma vez que a água cinza não pode ser misturada com a água proveniente da rede, de forma a obedecer a NBR 13969-97⁴.

Nesse estudo será considerada a aplicação do reuso de águas cinzas em residências, de forma a suprir a demanda total do vaso sanitário. Em função da necessidade de reforma nas casas para implementação do sistema de reuso e do custo de implementação do mesmo, optou-se por uma abordagem conservadora de aplicação de 20% das casas existentes por município. Já para os anos seguintes, a medida será aplicada em 100% das casas novas, uma vez que o sistema pode ser adicionado no projeto das casas de forma regulamentada e o seu custo diluído com a economia de água ao longo dos anos. Para essa regulamentação, salienta-se o código de construções dos municípios, dispostos em seus Planos Diretores Municipais.

A medida é aplicada até 2050, onde a totalidade das 293 mil novas residências projetadas entre 2015 e 2050 terão o sistema de reuso de águas cinzas. Ademais, 20% das atuais 1.949 mil residências (390 mil) instalarão o sistema ao longo dos próximos 5 anos (de 2015 até 2019).

Influência na vazão

Um volume de 40l per capita/dia pode ser economizado nas residências da região da bacia do PCJ com a implantação de sistema de captação de água de chuva. A medida será considerada como implementada em 20% das casas existentes nos municípios da bacia e 100% das casas novas até 2050.

Quantitativamente, tem-se que a demanda superficial para uso doméstico em 2050, que seria de 1,93 milhão de m³/dia, é reduzida para 1,8 milhão de m³/dia. A redução da demanda de água se traduz em 6,7% do total a ser demandado. Para se compreender a magnitude de tal medida, tem-se que a economia anual em 2050 seria de 128 mil m³/dia, equivalente a 46,86 milhões de m³ por ano.

Custo de implementação da medida

Para que a medida seja aplicada será necessário que os proprietários arquem com o custo da aquisição e instalação dos equipamentos.

³ O volume de 8 litros por descarga representa uma média entre válvulas antigas de parede, cujo consumo (quando bem regulado) é de 12 litros, e das descargas em caixa acoplada, cujo consumo é de 6 litros. Adiciona-se à ponderação o fato de que muitas construções recentes já contemplam a descarga em caixa acoplada e válvula de duplo comando, que permite optar por uma descarga de 3 litros ou de 6 litros.

⁴ A água proveniente do chuveiro e lavatório passa por tratamento em um conjunto composto por reator anaeróbio e filtro anaeróbio onde ocorrem reações de estabilização de matéria orgânica e sedimentação para poder ser reservada.

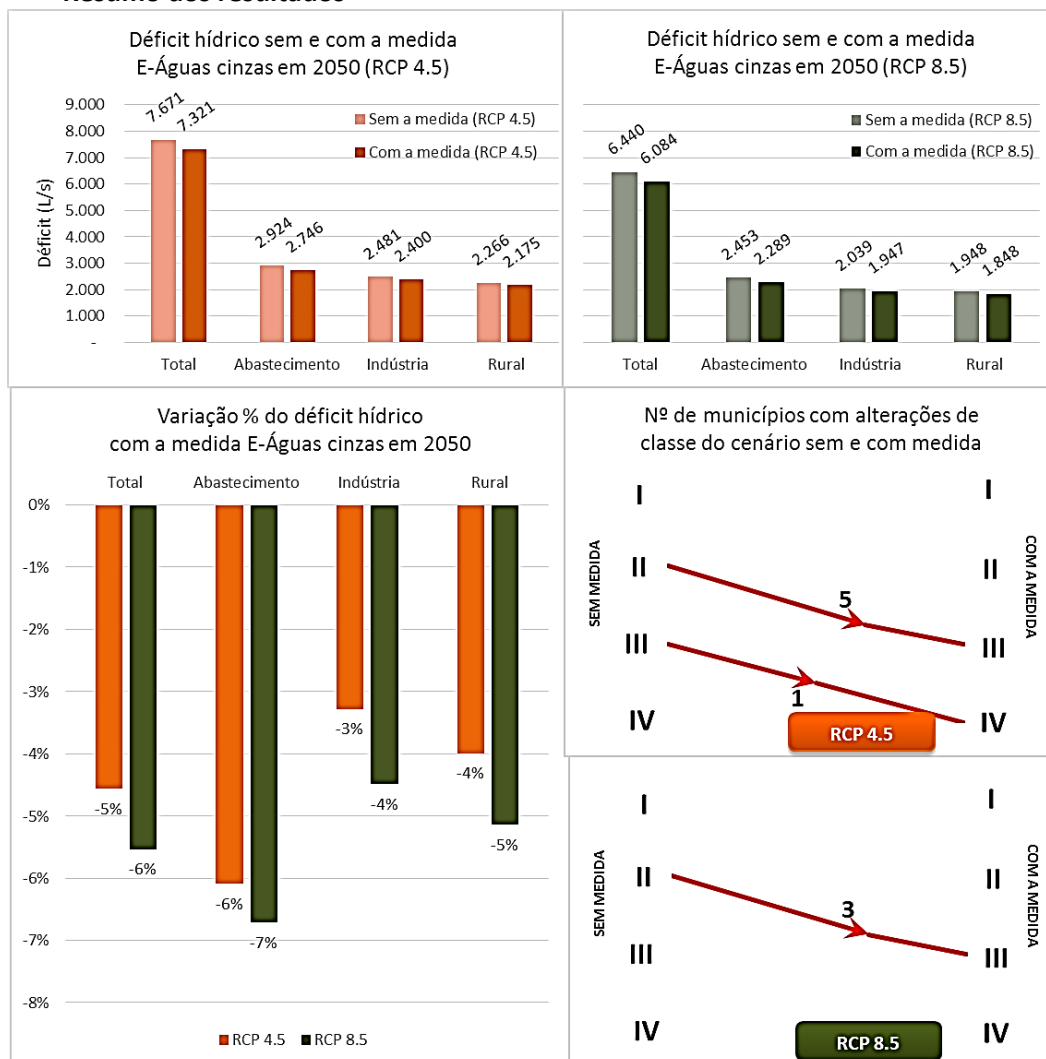
Custos para implantação de um sistema de reúso de água

Material	Custo (R\$)	Quantidade	Total (R\$)
Moto-bomba de ¼ CV	400,00	1	400,00
Reservatório 500 L	250,00	1	250,00
Mão de obra	12,50/hora	40 horas	500,00
Reator anaeróbio e filtro anaeróbio	2240,00	1	2.240,00
Tubulações, conexões	15% do total		508,50
Custo total unitário			3.898,50

Fonte: (SELLA, 2011) (C&C, 2014) (LEROY MERLIN, 2014).

Os valores acima foram atualizados pela variação da inflação no período entre 2005 e 2013, que pelo IPCA do IBGE monta em 50,48%, totalizando R\$ 5.866,48 por residência.

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida E-Águas cinzas

Custo total da medida (mil R\$)			4.009.108
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			3.421.309
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)		RCP 4.5	RCP 8.5
Abastecimento		79.296	69.416
Indústria		225.392	142.593
Rural - dessedentação		0	0
Rural - irrigação		0	0
Qualidade		-51.474	-226
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)		253.213	211.783
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)		1,04	1,24

2.6 (F) APROVEITAMENTO RESIDENCIAL DE ÁGUA DE CHUVA

Objetivo da medida

Coleta de água de chuva para uso não potável em residências na área urbana, diminuindo a pressão sobre a demanda de água de abastecimento.

Descrição geral da medida

Os sistemas mais simples de captação de água de chuva são aqueles em que a água é captada do telhado das residências por meio de tubulações que levam a mesma para um reservatório que pode ser de diferentes materiais (concreto armado, tijolo, polietileno). Portanto, a quantidade de água coletada depende do tamanho do telhado da edificação, além da precipitação na região (FERNANDES, NETO MEDEIROS e MATTOS, 2007).

A água coletada do telhado por meio de calhas é armazenada no reservatório e então distribuída por uma bomba para o sistema hidráulico da casa e é utilizada predominantemente para fins não potáveis, como lavagem de garagem, carro, irrigação de jardim e bacia sanitária. A água coletada de chuva pode ter fins potáveis, a exemplo do Programa Cisternas do Ministério de Desenvolvimento Social e Combate à Fome. Porém, recomenda-se aqui, o uso da água de chuva para fins não potáveis, como descrito na norma NBR 15527/07 que adverte, por exemplo, sobre a água de descarte, “ou seja a primeira parcela” de chuva coletada que deve ser descartada para garantir que as impurezas por ela lavadas não estejam na água que será utilizada para consumo. O recomendado é que o primeiro milímetro (1,0 mm) da água coletada seja descartado.

Aplicação no estudo

O sistema de captação de água de chuva considerado para esse caso foi dimensionado para uma casa popular com 43m² de área de telhado. Foi determinada apenas a bacia sanitária como destinação para a água de coleta de chuva por conta da dimensão do reservatório. Quanto mais usos fossem considerados, maior deveria ser o reservatório para estocar a água coletada e atender a demanda de uso durante os meses de seca, sendo o tamanho e o custo do reservatório fatores de viabilidade da medida para uma casa popular. Além disso, a bacia sanitária é o que mais consome água em uma residência, em torno de 29% do consumo (MAY, 2009).

Sendo assim, partindo da hipótese que um indivíduo aciona a válvula de descarga 5 vezes ao dia e que cada acionamento demanda 8⁵ litros de água, temos a demanda per capita para bacia sanitária de 40l/dia (CIRRA/FCTH/DTC ENGENHARIA, 2004).

Considerando que na região da bacia do PCJ a média de moradores por residência é de 4 pessoas (COBRAPE, 2010), e que haja pelo menos dois eventos de chuva no mês, seria necessário um reservatório com capacidade de pelo menos 2.880l para suprir essa demanda residencial.

A precipitação média na bacia do PCJ varia entre 1.200 e 1.800 mm anuais sendo o período de chuva de outubro a abril, já o período de seca ocorre entre maio e setembro (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2012). Para a análise dessa medida foi utilizada a média histórica (1976 a 2005) de precipitação para cada sub bacia (IRRIGART, 2007).

⁵ Ver medida de reuso de águas cinzas.

Considerando a série histórica de precipitação mensal na região e uma casa popular de 43 m² de telhado, tem-se a seguinte captação de água mensal:

Volume de captação da chuva na Bacia do PCJ

Mês	P(mm)	Volume útil (L) ⁶	Volume demandado por residência (L) ⁷	Água descartada(L)
Jan	244	8.394	4800	3594
fev	186	6.398	4800	1598
mar	163	5.607	4800	807
Abr	79	2.718	4800	-2082
Mai	81	2.786	4800	-2014
Jun	50	1.720	4800	-3080
Jul	36	1.238	4800	-3562
Ago	35	1.204	4800	-3596
Set	79	2.718	4800	-2082
Out	125	4.300	4800	-500
Nov	141	4.850	4800	50
Dez	208	7.155	4800	2355

O cálculo utilizado para a definição do volume aproveitável foi baseado nas metodologias para dimensionamento de reservatório disponíveis na Norma ABNT NBR15527. Como mostra a tabela acima, durante um período de seis meses o volume de água captado será suficiente para atender a demanda mensal de água para uso em bacia sanitária numa residência de 4 pessoas.

É importante citar que apesar da provável alteração no ciclo de chuvas em função da variabilidade climática futura o volume de água de chuva captado será suficiente para atender as necessidades das residências.

A medida é aplicada até 2050, onde a totalidade das 293 mil novas residências projetadas entre 2015 e 2050 terá o sistema de captação de águas pluviais para fins de utilização em descargas. Ademais, 20% das atuais 1.949 mil residências (390 mil) instalarão o sistema ao longo dos próximos 5 anos (de 2015 até 2019).

Influência na vazão

Sendo assim, assume-se que ao menos durante seis meses no ano um volume de 40l per capita/dia pode ser economizado nas residências da região da bacia do PCJ com a implantação de sistema de captação de água de chuva. A medida será considerada como implementada em 20% das casas existentes nos municípios da bacia e 100% das casas novas até 2050.

Quantitativamente, tem-se que a demanda superficial para uso doméstico em 2050, que seria de 1,93 milhão de m³/dia, é reduzida para 1,86 milhão de m³/dia. A redução da demanda de água se traduz em 3,4% do total a ser demandado. Para se compreender a magnitude de tal medida, tem-se que a economia anual em 2050 seria de 65,49 mil m³/dia, equivalente a 24 milhões de m³ por ano.

⁶ O volume útil é calculado através da seguinte equação: $p \cdot 0,8 \cdot A_{\text{telhado}}$

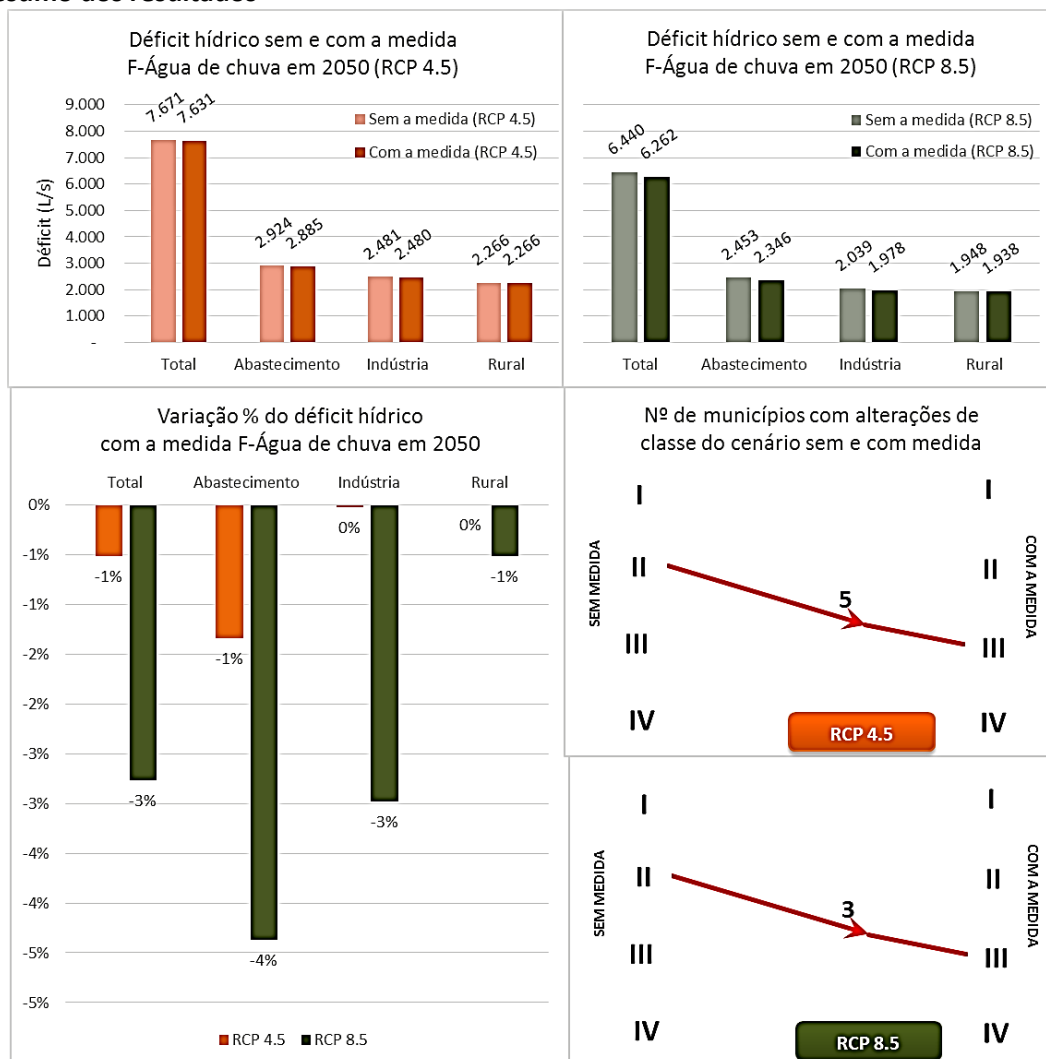
p= precipitação; A_{telhado} = Área do telhado fixa em 43m²; 0,8= fator de correção para dar segurança ao projeto.

⁷ Volume demandado por residência é calculado através da seguinte equação: $V_{\text{Descarga}} \cdot N_{\text{residentes}} \cdot \text{tempo}$
 V_{Descarga} = 40 litros diários por habitante; $N_{\text{residentes}}$ = 4 pessoas por residência; tempo = 30 dias.

Custo de implementação da medida

Os custos de implantação de um sistema de captação de água da chuva variam principalmente de acordo com a capacidade do reservatório. Neste caso, para um volume de 3.000l o valor total é de R\$2.060,30 (LIMA e MACHADO, 2008) (SEMPRESUSTENTAVEL; LEROY MERLIN; C&C, 2014). É válido ressaltar que o custo levantado considera tecnologias de baixo custo.

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida F-Água de chuva

Custo total da medida (mil R\$)			1.407.994
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			1.201.560
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)	RCP 4.5	RCP 8.5	
Abastecimento	19.129	29.561	
Indústria	91.666	45.896	
Rural - dessedentação	0	0	
Rural - irrigação	0	0	
Qualidade	0	-226	
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)	110.795	75.231	
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)	0,83	1,22	

2.7 (G) INCENTIVOS ECONÔMICOS PARA O USO RACIONAL DE ÁGUA

Objetivo da medida

Incentivar a redução de consumo de água por meio da concessão de descontos no valor da conta de água.

Descrição geral da medida

Com o objetivo de incentivar a redução no consumo de água, descontos na conta de água são previstos para aqueles usuários que reduzirem seu consumo mensal.

Outros instrumentos econômicos são utilizados na América Latina e Central, como a cobrança pelo uso de água praticada pelo Brasil, Chile e Colômbia e o abatimento no imposto de renda oriunda da conservação da água em Barbados (MOTTA, RUITENBEEK e HUBER, 1996). Sistemas de “rebates” para a substituição de aparelhos hidráulicos mais eficientes e aplicação de multa para usos de água considerados desnecessários (como lavagem de calçadas durante alguns períodos do ano) são observados nos Estados Unidos (DALLAS WATER UTILITIES & ALAN PLUMMER ASSOCIATES, INC., 2010).

Por ser uma medida usual no Brasil e pelo fácil acesso aos dados, optou-se nesse estudo utilizar o abatimento de conta de água como incentivo para redução de consumo de água.

Aplicação no Estudo

O caso aqui aplicado é baseado na campanha da Sabesp, Guardião das Águas de 2014, que prevê um desconto de 30% na tarifa mensal dos serviços para aqueles usuários que reduzirem 20% de consumo de água no mês em relação à média dos últimos 12 meses (SABESP, 2014).

Uma vez que o programa de bônus é voluntário, é válido ressaltar que 46% dos clientes da Sabesp abastecidos pelo sistema Cantareira aderiram e atingiram a meta de redução de 20% de consumo entre fevereiro e maio de 2014 (SABESP, 2014). Este programa foi implementado em um período de crise hídrica, fato que pode justificar a alta aderência da população e por isso a aplicação nesse estudo levou em consideração um fator de correção de 0,8 para o percentual de aderência que também foi estendido por 6 meses.

Essa medida foi considerada constante no cenário futuro durante o período de seca, portanto aplicada durante os 6 meses mais secos de cada ano (entre maio e setembro nesta bacia (AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ, 2012).

Influência na vazão

A influência na vazão será resultante da redução de 20% do consumo de água pelos 36,8% dos aderentes ao incentivo durante os 6 meses secos do ano, período de validade do incentivo. Utilizando essas informações é possível elaborar a equação (1):

$$(\text{Taxa de adesão} * \text{Redução mensal}) = \text{Redução global de água (1)}$$

$$(0,368 * 0,20) = 0,0736 \text{ ou } 7,36\%$$

Sendo,

Taxa de adesão = 36,8%

Redução mensal = 20%

Redução global de água = Percentual de redução aplicado a todos os consumidores

Após obter o valor referente à redução global de água é possível formular a equação (2):

$$\text{Consumo} - (\text{Redução global de água} * \text{consumo}) = \text{redução total (2)}$$

Sendo,

Consumo = Consumo médio per capita de água por dia sem perdas em cada município (L/hab.dia)

Redução total = Valor por município em (L/hab.dia) do novo consumo médio per capita de água após aplicação da medida.

Para obter o valor referente a todo o potencial da medida por município em um ano é necessário aplicar os valores correspondentes na equação (3):

$$\text{Potencial redução medida} = \text{Redução total} * \text{população} * \text{tempo (3)}$$

Sendo,

Potencial redução medida = Valor em (L) por município do potencial de redução da medida.

População = População total por município.

Tempo = Para essa medida será de 6 meses, e cada mês terá 30 dias.

Quantitativamente, tem-se que a demanda superficial para uso doméstico em 2050, que seria de 1,93 milhão de m³/dia, é reduzida para 1,86 milhão de m³/dia. A redução da demanda de água se traduz em 3,8% do total a ser demandado. Para se compreender a magnitude de tal medida, tem-se que a economia anual em 2050 seria de 73,50 mil m³/dia, equivalente a 26,8 milhões de m³ por ano.

Custo da medida

O custo da medida será os 30% de desconto do valor da conta de água para os aderentes à campanha, ou seja, a redução de 30% da tarifa de água recolhida pela empresa concessionária de serviços de distribuição e saneamento durante os 6 meses de estiagem por ano.

Para fins de definição de uma tarifa única para a bacia do PCJ, adotou-se a ponderação entre a tarifa média de R\$ 3,78/mês/m³ da ARES-PCJ com 91,4% e R\$ 2,63/mês/m³ da SABESP com 8,6%, resultando na tarifa de R\$ 3,6765/mês/m³. A lógica para essa ponderação é a participação relativa das tarifas na demanda doméstica atual, pois os 8 municípios atendidos pela SABESP são responsáveis por 8,6% da demanda total. Os municípios de Minas Gerais, por representarem 1,2% do total demandado para uso doméstico, foram considerados como tarifa ARES-PCJ. Detalhes no quadro abaixo.

Tarifas no PCJ

A bacia do PCJ é atendida por várias empresas de água, algumas municipais (departamentos de água e esgoto - DAEE) outras privadas e também pela estadual SABESP. A grande parte, entretanto, é regulada pela ARES - Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, também conhecida como Agência Reguladora PCJ.

A Agência, por meio de sua Resolução ARES-PCJ nº 37/2013⁸, fixou as tarifas de água tratada nas seguintes faixas: de R\$ 20,11/mês para consumo de até 10 m³; R\$ 3,73/mês para consumo entre 11 e 15 m³; R\$ 3,82/mês para consumo entre 16 e 20 m³; R\$ 3,90/mês para consumo entre 21 e 25 m³; R\$ 4,80/mês para consumo entre 26 e 30 m³; R\$ 5,12/mês para consumo entre 31 e 50 m³; e R\$ 7,84/mês para consumo entre acima de 50 m³. Todas estas consideram consumidores residenciais padrão, ou seja, que não são de categorias: social, com ligação coletiva, comercial com pequeno comércio, comercial, pública ou industrial. A tarifa média entre as classes de consumo é de R\$ 7,05/mês, e a tarifa pela faixa média de consumo de até 20 m³/mês é de R\$ 3,78/m³/mês.

Já a tarifa da SABESP, conforme o Comunicado 07/2013⁹, para consumidores residenciais normais (ou seja, que não detém tarifa social e nem tarifa favela) é de R\$ 16,82/mês para consumo de até 10 m³; R\$ 2,63/mês para consumo entre 10 e 20 m³; R\$ 6,57/mês para consumo entre 20 e 50 m³; e R\$ 7,24/mês para consumo acima de 50 m³. A tarifa média entre as classes de consumo é de R\$ 8,35/mês, e o valor da classe de consumo médio de até 20 m³/mês é de R\$ 2,63/mês/m³.

O efeito da abdicação de 30% da receita por parte das empresas concessionárias em função da redução de consumo nos meses secos de cada ano resulta em um custo de R\$ 153 milhões em 2050.

⁸ http://www.sanasa.com.br/conteudo/conteudo2.aspx?par_nrod=1770&flag=FF-RT

⁹ http://site.sabesp.com.br/Contents/Files/clientes_servicos/comunicado_07_2013.pdf

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida G-Incentivo \$

Custo total da medida (mil R\$)			1.884.718
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			1.170.377
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)		RCP 4.5	RCP 8.5
Abastecimento		21.531	32.084
Indústria		90.062	28.332
Rural - dessedentação		0	0
Rural - irrigação		0	0
Qualidade		0	0
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)		111.593	60.416
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)		0,80	1,49

2.8 (H) AUMENTO NA TARIFA DE ÁGUA

Objetivo da medida

Induzir a redução da demanda de água residencial através do aumento da tarifa pelas empresas de saneamento.

Descrição geral da medida

Tradicionalmente a solução do desequilíbrio entre a demanda e oferta de água passa por práticas de gestão de oferta, como, por exemplo, a construção de barragens e transposição de bacias, no entanto o gerenciamento passa também pela gestão da demanda que visa à conservação dos recursos hídricos através de práticas de redução do consumo e do uso eficiente da água (STUDART, 2001).

O setor de saneamento é um dos principais usuários dos recursos hídricos e deve ser onerado pelo abastecimento e lançamento de esgotos. A tarifa de água é cobrada não pela água em si, mas sim pela adução, tratamento e distribuição.

Não obstante, o valor cobrado é o que o usuário do recurso entende como seu preço de uso e também por seu valor econômico. Eis que a cobrança da água pelo seu valor econômico seria maior, necessariamente, do que a atualmente cobrada. A cobrança da água como instrumento de gestão de sua demanda é um conceito novo para o Brasil e é aqui explorado.

Quando o preço da água sobe, sua demanda tende a cair (grau de elasticidade-preço, abaixo discutido). Se há uma retração de usos, há conseqüentemente uma retração de receitas, ou seja, incorre-se em um custo econômico. Eis que nesse custo reflete-se uma realocação do recurso (água) para seus fins mais valiosos. Caso a água seja cobrada por seu valor econômico, que refletiria sua escassez, a possibilidade de uso do recurso para fins que não são os mais rentáveis deixaria de ocorrer - a realocação dos recursos corrigiria uma falha de mercado que é a precificação abaixo do valor econômico¹⁰.

A cobrança pelo uso da água é justificada, na linguagem da economia ambiental, como mecanismo de racionalizar o uso do recurso e corrigir as externalidades no consumo e na produção, dado que internaliza aos custos privados os verdadeiros custos sociais.

Segundo CARRERA-FERNANDEZ (2002), os principais objetivos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos são: (i) gerenciar a demanda, influenciando, inclusive, na decisão de localização da atividade econômica; (ii) redistribuir de forma mais justa os custos sociais, na medida em que impõe preços diferenciados para usuários diferentes; (iii) melhorar a qualidade dos efluentes industriais e esgotamentos sanitários lançados nos corpos de água; (iv) promover a formação de fundos para financiar ações públicas através de projetos, obras, programas e outros trabalhos necessários ao setor; e (v) incorporar ao planejamento global as dimensões social e ambiental.

¹⁰ A correção de falhas de mercado faz dos mercados instrumentos adequados para alocar os recursos escassos de forma a maximizar o bem estar social, ou seja, conceder aos recursos seus fins mais nobres. A redução na demanda pela água faz com que conflitos pelo seu uso sejam minimizados, bem como reduz as necessidades de investimentos (PORTER, 2014).

Aplicação no estudo

Para medir o impacto do aumento da tarifa na diminuição do consumo de água residencial é importante conhecer a sua elasticidade-preço. Esse fator reflete quantitativamente a relação entre tarifa e a demanda sendo utilizado pelas empresas de saneamento para determinar o valor final da tarifa.

Elasticidade-preço em recursos hídricos

O aumento da tarifa leva a uma queda na demanda, ou seja, há uma relação inversa entre preço e quantidade. O grau de elasticidade-preço representa tal variação relativa entre demanda e preço. A relação inversa ocorre para todos os produtos e serviços demandados, porém difere-se para aqueles cuja necessidade seja muito alta. Por exemplo, o aumento em 100% do valor de um remédio que mantém vivo um paciente não fará com que este deixe de consumi-lo, ou mesmo o faça em dosagens menores, pois isso significa seu fim. Consequentemente, esse paciente deixaria de consumir outros bens e serviços para manter suas compras do dito remédio.

A água, assim como produtos alimentícios in natura de forma geral, é bastante inelástica, ou seja, insensível à variação de preço dado seu alto grau de necessidade. Isso significa que um aumento de 1% na tarifa da água não fará com que se demande 1% a menos, ou ainda 2% a menos

A tabela abaixo apresenta os graus de elasticidade estimados no Brasil e em outros países do mundo em relação à demanda por água para consumo doméstico.

Autor	Ano	Região de Estudo	Tipo de Uso	Elasticidade-Preço
Medeiros e Ribeiro	2012	BH do rio Paraíba	Consumo em área urbana	-0,460
			Captação em área urbana	-0,964
Andrade et al	1995	Estado do Paraná	Consumo humano	-0,24
Carrera-Fernandez	2002	BH do rio Vaza-Barris	Consumo humano	-0,13
Carrera-Fernandez	2000	BH do rio Pirapama	Consumo humano	-0,13
Chaves	2012	Revisão bibliográfica em 5 países ¹¹	Consumo humano	-0,15
Bhatia	1995	Revisão bibliográfica em 4 países ¹²	Consumo humano	-0,35 a -0,60
Olmstead	2003	Estados Unidos e Canadá ¹³	Consumo humano	-0,3319

Fonte: (MEDEIROS e RIBEIRO, 2012) (OLMSTEAD, HANEMMAN e STAVINS, 2003) (CHAVES, 2012) (ANDRADE, BRANDÃO, *et al.*, 1995) (BATHIA e WINPENNY, 1995) (CARRERA-FERNANDEZ e PEREIRA, 2002) (CARRERA-FERNANDEZ e PEREIRA, 2000)

Pelo arrazoado acima, nota-se que não há um único grau de elasticidade-preço que capture com perfeição o mercado da água e seu valor econômico. Adicionalmente, além da alta necessidade da água para consumo humano direto, há uma miríade de outros usos e finalidades que caminham do mais útil (lavar roupa e louça), pelo mais divertido (piscina e outros usos recreativos) ao mais supérfluo (lavar carros). Cada um desses usos implica em valorações subjetivas e variados custos de oportunidade.

De forma geral, o grau de elasticidade-preço da demanda possibilita antever o comportamento dos múltiplos usuários dos recursos hídricos frente a uma política de preços, cada qual com sua estrutura de preferências. Percebe-se que, mesmo sendo inelásticos - os coeficientes não são irrisórios.

Por meio da revisão de literatura acima sintetizada adota-se o grau de elasticidade-preço de -0,25 para a medida adaptativa estudada. Os consumidores, ao se defrontarem com uma tarifa mais alta, optariam por adotar as medidas de controle de suas demandas que mais lhe fossem cabíveis. Como exemplo, investir-se-ia em reservas individuais (tal como na medida de aproveitamento da água da chuva), sistemas de reuso de águas cinzas, torneiras e chuveiros mais eficientes, banhos mais curtos etc. Ou seja, uma ampla gama de ações seria motivadas pela tarifa mais alta.

¹¹ A literatura consultada pelo autor foi: Carver & Boland, 1969; Hanke & Mare, 1971, Boistard, 1985; Thomas & Syme, 1979; e Veck & Bill, 1998.

¹² O autor compara países em desenvolvimento. No caso do Brasil, cita elasticidade de -0,60. Já para a Indonésia, México e Costa Rica, os coeficientes são de -0,35, -0,38 e -0,40, respectivamente.

¹³ O autor faz uso de uma extensa base de dados com 1.082 famílias em 11 áreas urbanas nos Estados Unidos e no Canadá, servidos por 16 companhias de água. Ademais, compara a influência do sistema de cobrança, além do valor da tarifa em si. Os achados são interessantes: entre as formas de cobrança estudadas, as elasticidades variaram de -0,1937 até -0,6007.

A cobrança pela água em valores mais próximos ao econômico reforça, dessa forma, a série de outros instrumentos de ação e controle sobre o recurso, cujo objetivo principal é alocar eficientemente as águas entre seus múltiplos usuários, racionalizando seu uso.

Embutida na cobrança de água há também uma questão distributiva que não pode ser deixada de lado, notadamente na presença de inadequada distribuição de renda. Levantamento conduzido por Andrade et al. (1995) para consumidores da Empresa de Saneamento do Paraná (SANEPAR) mostrou que diferentes segmentos de renda detêm graus de elasticidade-preço diferenciados. Para famílias com renda menor do que 2 salários mínimos, a elasticidade é de -0,66, enquanto que para usuários de renda superior a 10 salários mínimo, é de -0,22. Isso implica em dizer que a população de mais baixa renda sofreria uma redução maior em sua demanda (que é menor em volume unitário) do que a de mais alta renda.

Ainda que reconhecida a importância da questão distributiva no reajuste de tarifas de água, cabe ressaltar que na modelagem realizada não se diferenciam os usuários das companhias de água entre domésticos, comerciais e industriais. Por obterem água via companhias de abastecimento, são classificados como domésticos. Adotou-se, por simplicidade metodológica, o mesmo grau de elasticidade, portanto, para todos esses usuários da categoria doméstica.

Influência na vazão

A influência na vazão é diretamente proporcional ao coeficiente de elasticidade da água. Ou seja, um aumento de 1% na tarifa reduziria em 0,25% a demanda. Para se testar o efeito de uma redução de demanda em função do aumento de preços, simulou-se um incremento de 100% no valor atual, ou seja, uma redução na demanda para usos domésticos da ordem de 25%.

Caso esse grau de elasticidade reflita com precisão as preferências dos consumidores da bacia do PCJ, ao invés de se demandar em 2050 um volume de 1,93 milhão de m³ por dia, dobrar a tarifa reduziria esse volume para 1,45 milhão de m³ por dia. Para se compreender a magnitude de tal medida, tem-se que a economia anual em 2050 seria de 484 mil m³/dia, equivalente a 176,82 milhões de m³ por ano.

Custo de implementação da medida

O custo dessa medida é refletido na conta que o consumidor pagaria pela sua água. A bacia do PCJ é atendida por várias empresas de água, algumas municipais, estadual (SABESP) e outras privadas. A grande parte, entretanto, é regulada pela ARES - Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí, também conhecida como Agência Reguladora PCJ.

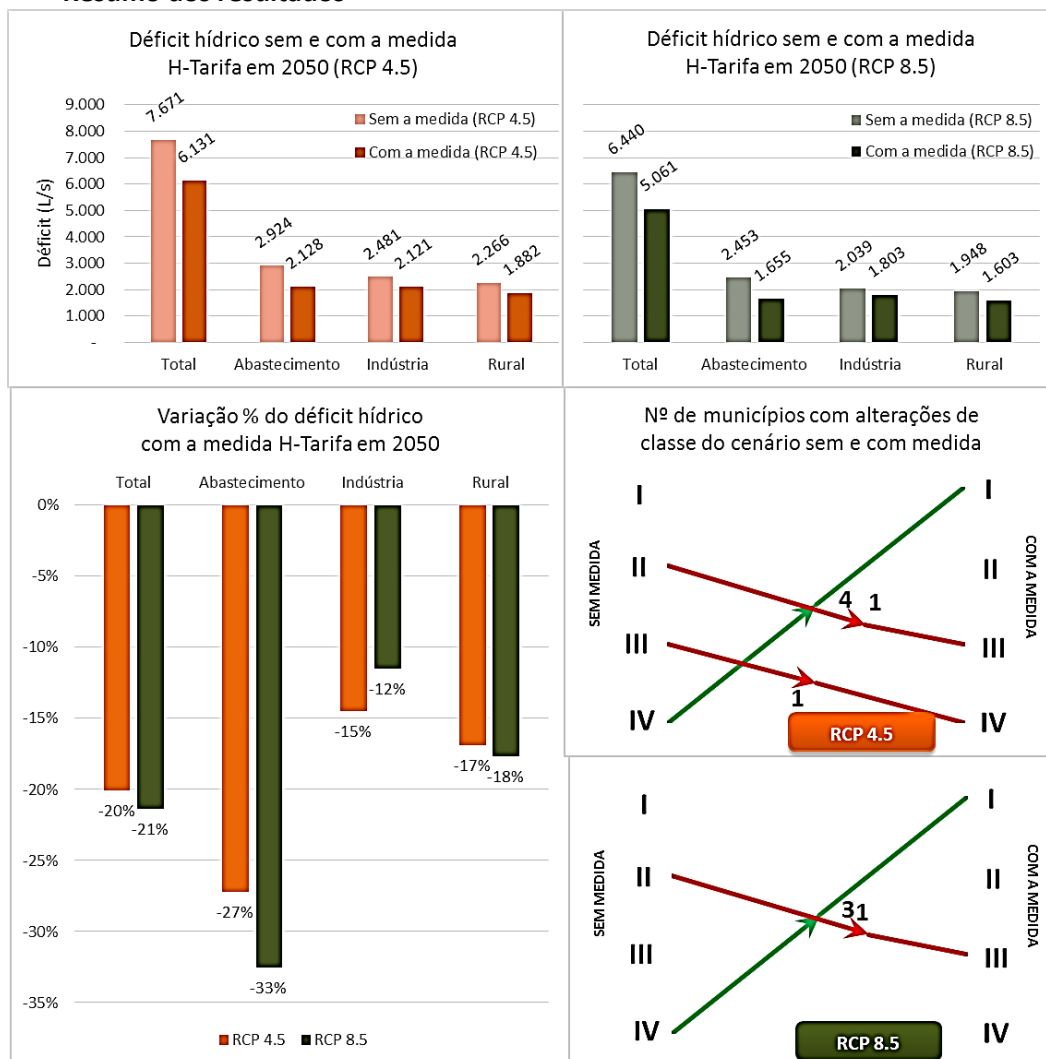
Para fins de definição de uma tarifa única para a bacia do PCJ, adotou-se a ponderação entre a tarifa média de R\$ 3,78/mês/m³ da ARES-PCJ (2014) com 91,4% e R\$ 2,63/mês/m³ da SABESP com 8,6%, resultando na tarifa de R\$ 3,6765/mês/m³, conforme descrito anteriormente.

Para se testar o efeito de uma redução de demanda em função do aumento de preços, simulou-se um incremento de 100% no valor atual da tarifa (ponderada), ou seja, de R\$ 3,6765/mês/m³ a tarifa passaria a ser de R\$ 7,3531/mês/m³.

A diferença entre as duas tarifas representa o custo da medida, uma vez que é esse o custo econômico que os usuários incorreriam. Haja vista que é a própria unidade de cobrança que varia negativamente, ou seja, a quantidade de metros cúbicos, o custo não é exatamente o

dobro, uma vez que o volume consumido é reduzido. Pressupõe-se que esse aumento de tarifa ocorra em 2015 e perdure até 2050, ano em que as mudanças climáticas - por força da simulação aqui realizada - imporão seu custo.

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida H-Tarifa

Custo total da medida (mil R\$)			66.464.874
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			41.273.525
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)	RCP 4.5	RCP 8.5	
Abastecimento	272.308	236.050	
Indústria	769.582	532.633	
Rural - dessedentação	0	0	
Rural - irrigação	4.391	4.391	
Qualidade	-39.875	6.115	
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)	1.006.406	779.189	
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)	3,14	4,06	

2.9 (I) AUMENTO DO VALOR DA OUTORGA PARA INDÚSTRIA

Objetivo da medida

Reduzir a demanda por água da indústria por meio do seu instrumento econômico mais direto: a cobrança pela água via outorga.

Descrição geral da medida

O diploma legal que embasa a medida é a lei da água - Lei Federal nº 9.433/1997. O mesmo, além de reconhecer o valor econômico da água¹⁴, estabelece instrumentos de gestão para que se apliquem seus princípios, tais como: o plano de bacia hidrográfica, o enquadramento dos corpos d'água, a outorga, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o sistema de informações.

A figura institucional do Comitê de Bacia Hidrográfica operacionaliza a representação múltipla e a gestão compartilhada, incorporando representantes de governo, usuários e organizações não-governamentais. Já o enquadramento torna impossível a dissociação entre qualidade e quantidade, evocando conhecimento e planejamento dos usos atuais e futuros por meio de investimentos, uso sustentável, recuperação e conservação dos recursos hídricos de uma bacia. Já pela dotação de valor econômico à água, possibilitam-se imposições financeiras aos usuários do recurso. Aqueles que degradam a qualidade da água ou fazem uso desta em grande quantidade devem pagar pelo custo incorrido aos serviços de recuperação das águas ou de evitar que se necessite prover esta por outras fontes.

Assim sendo, essa medida visa aumentar a cobrança pelo uso da água ao setor industrial e induzir, assim, uma redução do consumo de água pelo mesmo em seus processos produtivos.

Aplicação no estudo

Na bacia do PCJ a cobrança pelo uso do recurso hídrico de domínio da união foi implantada em 2006¹⁵. A cobrança pelo uso das águas é realizada como uma compensação a ser paga pelos usuários de recursos hídricos visando à garantia dos padrões de quantidade, qualidade e regime estabelecidos para corpos d'água das bacias.

Segundo informações da Agência das Bacias Hidrográficas do PCJ¹⁶, seus objetivos principais são: (i) reconhecer a água como bem econômico e dar uma indicação do seu real valor; (ii) incentivar a racionalização do seu uso; e (iii) obter recursos para o financiamento dos programas e intervenções previstas nos Planos de Bacias.

Os valores atualmente praticados são: R\$ 0,01 por m³ para captação de água bruta e R\$ 0,02 por m³ de consumo de água bruta. Mesmo unitariamente baixos, os valores cobrados são

¹⁴ Dentre seus princípios, destacam-se: (i) o reconhecimento da água como um bem público dotado de valor econômico; (ii) a garantia do uso múltiplo das águas; (iii) a prioridade do uso, em situações de escassez, para consumo humano e animal; (iv) a adoção da bacia hidrográfica como unidade territorial de planejamento e gestão; e (v) a gestão descentralizada pela participação dos diferentes níveis do poder público, dos usuários e da sociedade civil no processo de tomada de decisão.

¹⁵ A cobrança, além de prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos de 1997, é também instituída pela Política Estadual de Recursos Hídricos de São Paulo (Lei Estadual nº 7.663 de 1991). A cobrança foi aprovada através da Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 025 de 2005, e alterada pela Deliberação Conjunta dos Comitês PCJ nº 027 de 2005, conforme aprovação e recomendações da Resolução CNRH nº 52 de 2005.

¹⁶ <http://www.agenciapcj.org.br/novo/instrumentos-de-gestao/cobranca-pelo-uso-da-agua>

longe de serem insignificantes para o Comitê de Bacias: em seu primeiro ano de vigência, 2006, foram aplicados R\$ 9,32 milhões oriundos dos recursos arrecadados pela Cobrança Federal. Não obstante, os valores cobrados não cumprem com os dois primeiros objetivos acima listados, apenas com o terceiro. Ou seja, não se tem uma mensuração do valor da escassez do recurso, mas sim uma forma de se financiar os planejamentos da Bacia.

Simula-se aqui um aumento na outorga apenas para a água captada pelas indústrias com auto-abastecimento. A medida adaptativa de aumento das tarifas das concessionárias simulou o mesmo racional para os usuários atendidos pelas companhias de abastecimento.

A justificativa para se distinguir os usuários industriais com auto-abastecimento dos demais usuários é a natureza e volume de tais usos. Enquanto os usuários atendidos pelas companhias de abastecimento são primordialmente residências, comércios, prestadores de serviço e pequenas indústrias, as indústrias com auto-abastecimento são, geralmente, grandes usuários de água. Em número (quantidade) de usuários, as indústrias usuárias da rede pública superam em muito aquelas com abastecimento próprio. Em volume de água captada, entretanto, é o oposto: os poucos grandes usuários industriais consomem volumes muito expressivos de água.

Como já exposto anteriormente, enquanto 62% do uso das águas captadas no PCJ é para abastecimento pela rede pública, 27% é para auto-abastecimento exclusivo de indústrias. De acordo com informações de outorga do Comitê de Bacias PCJ (COMITÊS PCJ, 2014), são 258 os estabelecimentos industriais que captam estes 27% do total outorgado. Os 30 maiores estabelecimentos, porém, são responsáveis por 84% desse volume (equivalente a 22% do total captado)¹⁷.

Segundo Feres e Reynaud (2005) em análise detalhada de dados primários de 488 estabelecimentos industriais localizados na bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul, vizinho ao PCJ, 52% utilizam apenas abastecimento via rede pública, enquanto outros 15% atendem suas demandas tanto via rede pública como via captação própria. Os 33% restantes fazem uso exclusivo de captação própria. Do volume total demandado por estas indústrias, 96,4% é atendido por captação própria, sendo que desta 84,3% é captação superficial. Enquanto amostra similar não está disponível para as indústrias instaladas na bacia do PCJ, infere-se pelo grau de similaridade entre as bacias que as participações relativas respeitam essa mesma característica.

¹⁷ A indústria vem promovendo sistemáticas reduções na demanda por água, como pode ser observado pelo Prêmio FIESP de Conservação (<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/cases-de-sucesso-premio-fiesp-de-conservacao-e-reuso-de-agua/>). Ademais, existe um movimento internacional das indústrias para redução de consumo em 30% até 2030, como pode ser observado no sítio: <http://www.2030wrg.org>. Por fim, a Confederação Nacional das Indústrias - CNI, recentemente publicou relatório sobre o tema com seu posicionamento (CNI, 2013).

Elasticidade-preço da demanda por água para uso industrial e custos associados

Enquanto que a elasticidade da água pelos usuários da rede pública é baixa, estimada em -0,25 (conforme exposto pela medida G), a mesma é diferente para a demanda de água industrial. CARRERA-FERNANDEZ (2002), estudando as indústrias na bacia do rio Vaza-Barris, estimou a elasticidade-preço industrial em -1,01. Isso significa que um aumento no preço da tarifa industrial de 1% reduz o consumo de água em 1,01%, ou seja, uma relação unitária e não mais inelástica. O mesmo autor, ao estimar a elasticidade-preço da demanda industrial na bacia hidrográfica do rio Pirapama, chegou ao valor de -1,03, também unitária.

ALVES et al (2009), em estudo da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas - FIPE, investigou a relação da demanda industrial da água pelos clientes da SABESP do setor industrial. O autor encontra uma demanda inelástica de -0,4131, destacando que alguns setores, como o metalúrgico, por exemplo, detêm demandas elásticas enquanto outros - alimentício - inelásticas. Outro achado é que, quando a indústria depende do serviço de abastecimento público, sua elasticidade-preço é maior do que quando dispõe de abastecimento próprio.

Feres e Reynaud (2005), estudou especificamente as indústrias no entorno da bacia do Rio Paraíba do Sul (vizinha ao PCJ) com dados primários de 488 estabelecimentos. Segundo modelagem econométrica, os autores especificaram a estrutura de custos das indústrias, sendo a água um dos fatores de produção.

Os autores modelaram os seguintes insumos: água, capital, trabalho, materiais e energia. A partir dos parâmetros estimados, foram computadas as elasticidades-preço da demanda pelo recurso hídrico para diversos setores industriais, bem como as elasticidades-cruzadas entre o insumo água e os demais insumos.

Para o total da amostra, a elasticidade-preço da demanda de água encontrada foi -0,5847. Esta elasticidade-preço, segundo a forma de captação da indústria, indica uma notável diferença: para aqueles estabelecimentos que fazem uso exclusivo da rede pública, a elasticidade é de -0,6344; já para aqueles com captação própria, é de -0,3730.

As variações dos graus de elasticidade-preço da demanda por água pelos setores industriais foram: -0,82 para alimentos e bebidas; -0,04 para têxtil; -0,31 para vestuário, calçados e artigos de couro; -0,40 para madeira, borracha e plástico; -0,76 para papel e celulose; -0,71 para química; -0,22 para minerais não-metálicos; -0,48 para metalurgia; -0,31 para máquinas e equipamentos; -0,51 para material de transporte; e -0,33 para outros setores.

Indo além da relação entre preço e demanda por água, Feres e Reynaud (2005) realizaram simulações para avaliar os impactos de aumentos do preço da água sobre a quantidade de água demandada e seu impacto no custo total das firmas. Observou-se que um aumento de 10% no preço da água acarreta uma redução de -3,23% na sua demanda. Já o impacto sobre o custo de produção é pouco significativo: este mesmo aumento de 10% no valor da água geraria um acréscimo no custo da ordem de 0,05%.

Os autores apresentam uma tabela com o impacto do aumento do preço da água sobre a demanda pelos fatores de produção, ou seja, com o quanto os outros fatores de produção subiriam em demanda caso o preço da água fosse reajustado. O que sublinha o raciocínio é a substituição entre os fatores de produção para que se mantenham os níveis de produção inicial.

A forma com a qual os referidos autores chegam ao aumento no custo por insumo é pelo conhecimento da participação relativa de cada um deles na produção (entre água, capital, trabalho, materiais, energia) para cada atividade industrial. Ou seja, mediante o aumento de um insumo de produção (no caso a água) e com o conhecimento das elasticidades-cruzadas, pode-se calcular o efeito de substituição que ocorre para compensar, em outros insumos, o aumento de preços.

Segundo informações do Comitê de Bacia PCJ (2014), classificou-se o perfil industrial de todos os 243 outorgados tipo 2 (indústria) de acordo com a matriz insumo-produto (IBGE, 2008) à

nível 55. Essa classificação permitiu inferir a quantidade de água captada pelas indústrias de cada perfil em cada município da bacia. Para fins de compatibilização do presente estudo com o estudo de Feres e Reynaud (2005), os setores industriais foram agrupados em seis tipos principais, quais sejam: setor químico, eletricidade, alimentos e bebidas, metalurgia, têxtil e outros. A tabela abaixo traz as demandas de água consuntiva por setor e o percentual dos custos totais com insumos da água.

SETORES	Demanda no PCJ por água superficial consuntiva (mil l/h)	Quantidade de indústrias	% da água no custo total dos insumos	Elasticidade-preço da demanda por água (para um aumento de 1% no preço)
Química	2,75	35	0.50%	-0.710%
Eletricidade	0,49	4	0.70%	-0.465%
Alimentos e bebidas	0,63	36	0.30%	-0.820%
Metalurgia	0,33	30	0.80%	-0.350%
Têxtil	0,17	45	0.60%	-0.175%
Outros	5,06	93	0.60%	-0.462%

Fonte: elaboração FGV com dados do (COMITÊS PCJ, 2014) e Feres e Reynaud (2005)

Para se testar o efeito de uma redução de demanda em função do aumento de preços, simulou-se um incremento de 100% no valor atual da outorga, ou seja de R\$ 0,02/m³ de consumo de água bruta a tarifa passaria a ser de R\$ 0,04/m³.

Influência na vazão

Dessa forma, conseguiu-se aplicar os graus de elasticidade para cada perfil industrial para cada município, somando a redução de acordo com as elasticidades de cada setor e seus respectivos usos. As reduções de demanda são bastante significativas, uma vez que a maior parte dos graus de elasticidade são altos. Nestas circunstâncias, o setor químico reduziria sua demanda em 71%; o de eletricidade em 46,5%; o setor de alimentos e bebidas em 82%; o de metalurgia em 35%; o setor têxtil em 17,5%; e por fim os demais setores em 46,2%. A redução global, ponderada pelos volumes captados por cada setor, resultariam em uma redução de 55%.

Custo de implementação da medida

Para o cálculo dos custos oriundos do aumento de 100% no valor da água captada superficialmente no PCJ, foi utilizada a informação de quanto cada insumo industrial - dentre capital, trabalho, materiais e energia - aumentaria em resposta. Os dados para tal foram estimados por Feres e Reynaud (2005) para a bacia do Paraíba do Sul e utilizados aqui por setor industrial, agrupados de acordo com as seis categorias acima descritas, devidamente ponderados para um aumento correspondente no preço da outorga pela água (simulada em 100%). Cada um dos setores industriais detém uma participação relativa distinta de cada um dos insumos em seus processos produtivos¹⁸.

Uma vez conhecidos os percentuais de aumento na demanda por cada insumo em cada indústria, decorrentes de um acréscimo de 100% no insumo água, estimou-se o custo de tais insumos. Essa aproximação foi realizada com base na matriz insumo-produto (IBGE, 2008) em sua tabela 2 - usos de bens e serviços a preço de consumidor (referentes ao ano de 2005). Nessa tabela se faz possível identificar, via setor de atividade à nível 55, o valor adicionado.

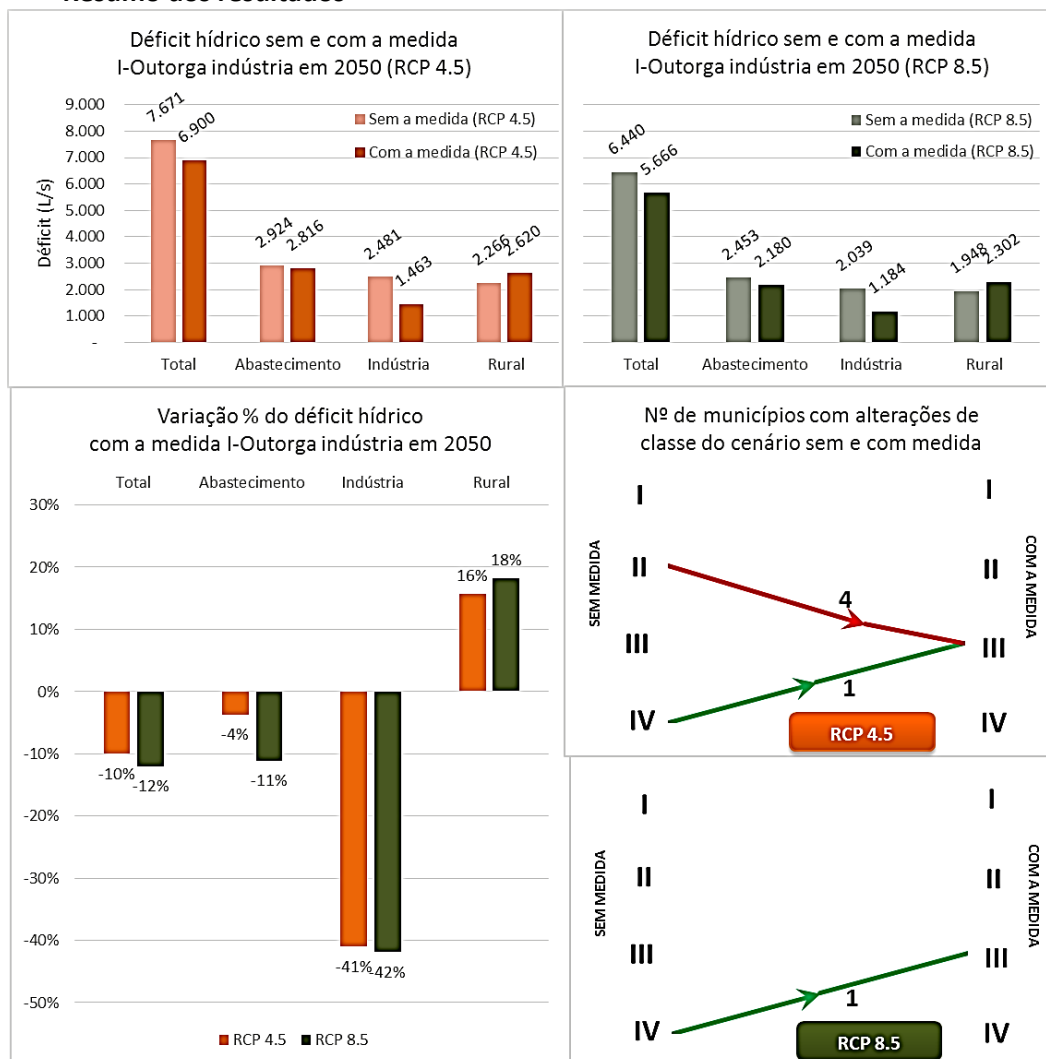
¹⁸ Na indústria metalúrgica, por exemplo, o capital representa aproximados 20%, materiais compõe 43%, energia 5% e trabalho 31%. Já na indústria alimentícia, apenas para comparação, o capital representa 15%, materiais 55%, energia 4% e trabalho 25,5%.

Uma subtração do valor adicionado ao valor agregado bruto de cada setor permite aproximar o valor dispendido em insumos produtivos.

A partir daí, o cálculo procedeu com a distribuição dos acréscimos no valor resultante de cada um dos insumos para cada um dos setores industriais agregados para cada município. O resultado, no agregado, significa um custo de 0,43% nos insumos de produção que não água, ou ainda 0,16% do valor agregado bruto pelo setor industrial em 2050. Em montante, chega-se ao custo anual projetado de R\$ 175 milhões para 2050.

SETORES	Demanda no PCJ por água superficial consuntiva (mil l/h)	Redução na demanda de água	Elasticidade-preço da demanda por outros insumos	Custo total por setor via aumento na demanda por outros insumos (R\$ mil)
Química	2,75	71,0%	0,34%	5.468
Eletricidade	0,49	46,6%	0,28%	3.615
Alimentos e bebidas	0,63	82,0%	1,30%	56.458
Metalurgia	0,33	35,0%	0,56%	93.046
Têxtil	0,17	17,5%	0,14%	1.850
Outros	5,06	46,2%	0,13%	26.157

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida I-Outorga indústria

Custo total da medida (mil R\$)			5.792.652
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			3.533.589
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)	RCP 4.5	RCP 8.5	
Abastecimento	100.214	113.866	
Indústria	6.563.992	6.468.370	
Rural - dessedentação	1.826	1.826	
Rural - irrigação	-42.663	-42.663	
Qualidade	3.836	23.720	
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)	6.627.205	6.565.119	
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)	0,04	0,04	

Mercado de água

Como foi tratado na medida adaptativa H (aumento da tarifa de água), o valor cobrado pelas companhias de saneamento não reflete o valor econômico da água, mas sim os custos marginais de longo prazo para a operação do sistema de adução e distribuição. Segundo a teoria econômica, portanto, a alocação da água entre usuários é potencialmente ineficiente. Uma das formas de se cobrar pela água seu valor econômico é por meio do desenvolvimento de um mercado de água. Sob o pressuposto de uma transação voluntária e mutuamente benéfica de "quotas de água", o encontro entre compradores e vendedores resultaria em um valor de equilíbrio que refletiria o valor do recurso, alocando-o eficientemente para seus mais nobres usos.

Embora um mercado de água traga ganhos potenciais, seu desenvolvimento potencial é prejudicado por altos custos de transação. Tais custos incluem a infraestrutura física, de geração de informações de mercado, de alocação, de execução de contratos e de monitoramento. Não obstante, segundo Bjornlund e McKay (2002) mercados de água foram desenvolvidos em áreas tão diversas como: no sul do Texas, no sul da Itália e da Espanha, no centro-norte do Chile, no Marrocos, e no sudeste Australiano.

No caso da bacia do rio Murray-Darling, na Austrália, a introdução ao comércio de água se deu em 1983, no estado da Austrália do Sul, para o setor agrícola - responsável pela grande demanda. Lá, o direito pela água é baseado pelo consumo passado e a alocação dos volumes pela taxa de eficiência na irrigação. A disponibilidade total de água varia ano a ano com pouca amplitude uma vez que o estado detém uma alocação fixa de água concedida pela autoridade da bacia. Em 1989 o mercado de água foi instituído no estado de Nova Gales do Sul e em 1991 no estado de Victoria. Nestes, as cotas são alocadas em função da área agrícola e a quantidade de água é definida, a cada ano, com base no total alocado para cada estado, conforme definido pela autoridade da bacia. Para tal decisão, a autoridade da bacia avalia o quanto de água estará disponível para outros usos, definindo o total a ser utilizado pelas atividades agropecuárias.

O esquema de transferência de direitos de água entre os agricultores permitiu uma vasta realocação de culturas, com notável aumento do uso da água em algumas áreas em detrimento à outras. Os agricultores irrigantes também podem aumentar o uso de água em um determinado ano como compensação pelo não consumo em anos anteriores. Segundo as conclusões de Bjornlund e McKay (2002), o mercado de água elevou o valor da produção agrícola por meio de tecnologias de irrigação mais eficientes, demandando-se assim volumes menores da bacia concomitante à geração de maior valor econômico.

2.10 (J) AUMENTO DE EFICIÊNCIA NA DEMANDA DE IRRIGAÇÃO

Objetivo da medida

Reduzir a demanda de água para irrigação por meio da otimização da eficiência de uso de água para irrigação de lavouras temporárias e permanentes na bacia PCJ.

Descrição geral da medida

O setor agrícola consome a maior quantidade de água do planeta, podendo ocorrer diferenças com relação ao consumo para diferentes culturas e em diferentes regiões. A nível mundial, as estimativas são de que 69% do total de água são para uso em irrigação (CHRISTOFIDIS, 1997), com elevado desperdício desse recurso, devido à utilização de técnicas inapropriadas e também ao plantio de algumas culturas em locais inadequados ao seu desenvolvimento. No cenário mundial 44% do total da produção agrícola provém de apenas 18% da área irrigada, os demais 56% da produção são provenientes da agricultura sem irrigação que ocupam 82% da área colhida. No Brasil, apenas 5% da área colhida é irrigada e que corresponde a 16% do total da produção de alimentos (MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, 2013). De acordo com pesquisa da Companhia Energética de Minas Gerais, a utilização de métodos e sistemas de racionalização de uso de água na irrigação tem o potencial de economia de 20% de água e 30% de energia (MARTINS, 2013)

Segundo dados estimados para 2012, a bacia do PCJ apresenta uma demanda total de água de 31,51 m³/s, onde, aproximadamente, 62% desta água é para uso urbano, 27% para uso industrial e 11% para irrigação.

Na maioria das áreas irrigadas são aplicadas cerca de 10 mil m³ por ha/ano de água com eficiência média de, aproximadamente, 60%, o que representa uma produtividade hídrica baixa. A elevação dessa eficiência representaria um volume demandado pela cultura por hectare irrigado que deixaria de ser retirado da fonte d'água (COELHO, COELHO FILHO e OLIVEIRA, 2005)

Uma das alternativas para incrementar a eficiência do uso da água de irrigação é o manejo racional da irrigação que consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto¹⁹. Diante disso, na seleção de sistemas de irrigação é necessário o conhecimento da eficiência de cada método de aplicação de água. Eficiência de irrigação pode ser definida como a relação entre a quantidade de água requerida pela cultura e a quantidade total aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade. Quanto menores as perdas de água devido ao escoamento superficial, evaporação, deriva e drenagem profunda, maior será a eficiência de irrigação de um sistema (LIMA, FERREIRA e CHRISTOFIDIS, 2014). Em geral, os valores adotados em projetos de irrigação no Estado de São Paulo são apresentados na tabela seguinte.

¹⁹ Por não adotar um método de controle da irrigação, o produtor rural usualmente irriga em excesso, temendo que a cultura sofra um estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia e de água, usados em um bombeamento desnecessário.

Eficiência de irrigação (Ei) e consumo de energia de diferentes métodos de irrigação.

Sistema de Irrigação	Ei (%)	Uso de energia (kWh/m ³)
Inundação	30 – 50	0,03 – 0,3
Sulcos de infiltração	40 – 60	0,03 – 0,3
Aspersão convencional	75 – 85	0,2 a 0,6
Pivot-central	80 – 90	0,2 a 0,6
Gotejamento e Microaspersão	80 – 95	0,1 a 0,4

Fonte: (LIMA, FERREIRA e CHRISTOFIDIS, 2014), (PIRES, SAKAI, *et al.*, 1999)

Aplicação no estudo

Na Bacia PCJ são utilizados os seguintes métodos de irrigação: inundação, sulcos de infiltração, pivot-central, aspersão convencional e irrigação localizada como gotejamento e microaspersão. No entanto, o mais utilizado é a aspersão convencional com 72,23% de uso pelos produtores rurais²⁰.

Métodos de irrigação utilizados na Bacia do PCJ e suas respectivas porcentagens de uso de acordo com a área irrigada.

Método	Área irrigada (ha)	% PCJ
Inundação	433	1,24
Sulcos de infiltração	653	1,88
Aspersão convencional	25042	72,23
Pivot-central	235	0,68
Gotejamento e Microaspersão	4033	11,63
Outros	4274	12,33
Total	34.670	100

Fonte: (IBGE, 2006)

A irrigação localizada promove a redução substancial do dispêndio de água, um dos mais eficientes na relação entre produtividade e unidade de água aplicada. O uso da irrigação localizada é mais propício para culturas hortícolas e para fruteiras, que são de maior rentabilidade e condizentes com os custos dos sistemas.

Na Bacia do PCJ, em seus mais de 60 municípios, são plantadas diversas culturas, sendo 19 culturas permanentes e 20 temporárias, além das áreas de pastagens (IBGE/SIDRA, 2014). A área total plantada com lavoura temporária é de 33.978,93 ha e com permanente de 101.309,25 ha (IBGE/SIDRA, 2014). Porém, as principais lavouras, em termos de área plantada, são descritas na tabela abaixo.

Nota-se que as culturas citrícolas (laranja, tangerina e limão) possuem, conjuntamente, 67,58% da área plantada com lavouras permanente na Bacia PCJ e, adicionando a lavoura de café esse percentual chega a 84,65% das lavouras perenes. Com relação à área total plantada na Bacia do PCJ de 135.288,15 ha, apenas as culturas citrícolas representam 51% do total.

Em se tratando de lavouras anuais ou temporárias observa-se a predominância do milho, hortícolas, cana e feijão, nessa ordem, com 80,95% do total da área plantada com temporárias. Porém, representam, conjuntamente, apenas 20,3% do total de área plantada na Bacia do PCJ, e a sua mudança para um sistema de irrigação mais eficiente não é recomendado, devido a rentabilidade dessas lavouras frente aos custos de implantação e manutenção dos sistemas de irrigação localizados.

²⁰ Observa-se que 25,63% da área plantada na Bacia PCJ é irrigada.

Diante dos dados apresentados, nota-se a possibilidade das principais culturas citricolas, com 51% do total de área plantada na Bacia, migrarem do método de média eficiência predominante na Bacia – aspersão convencional – para um método de alta eficiência – irrigação localizada²¹.

Áreas plantadas das principais lavouras temporárias e permanentes na Bacia PCJ e suas respectivas % na participação na área total plantada.

Lavoura temporária	Área (ha) ²²	%	Lavoura permanente	Área (ha)	%
Milho	15.506,53	11,46	Laranja	60.634,5	44,82
Hortaliças ²³	4.173,50	3,08	Café	17.295,25	12,78
Cana	3.981,65	2,94	Tangerina	4.418,75	3,27
Feijão	3.845,25	2,84	Limão	3.417,25	2,53
Total	27.506,93	20,33	Total	85.765,75	63,40

Fonte: (IBGE, 2014)

Para se calcular o total de demanda para irrigação na Bacia do PCJ é necessário conhecer as demandas hídricas das principais culturas plantadas de acordo com a seguinte.

Demandas hídricas das principais culturas da Bacia PCJ e suas respectivas demandas de irrigação.

Cultura	Demanda hídrica cultura (mm)	Demanda hídrica cultura (mm/dia)	Demanda hídrica irrigação – 80% da demanda hídrica da cultura (mm)	Demanda hídrica irrigação - 80% da demanda hídrica da cultura (mm/dia)	Demanda hídrica irrigação (l/ha/dia)	Demanda hídrica irrigação bruta (l/ha/dia)
Milho	380-550 ²⁴	6,6 ²⁵	304-440	5,28	52.800	52.800/Ei
Feijão	300-600 ²⁶	7,3 ²⁷	240-486	5,84	58.400	58.400/Ei
Café	800 – 1200 ²⁸	2,29 ²⁹	640-960	1,83	18.300	18.300/Ei
Cana	1000 – 2000 ³⁰	3,9 ³¹	800-1.600	3,12	31.200	31.200/Ei
Citrus	600-1200 ³²	3 ³³	480-960	2,4	24.000	24.000/Ei
Hortícolas	250-500 ³⁴	6,1 ³⁵	200-400	4,88	48.800	48.800/Ei

Normalmente a precipitação efetiva não é considerada ao se dimensionar um projeto de irrigação. Entretanto, a fim de compensar a não inclusão desse parâmetro no cálculo da demanda máxima de irrigação, pode-se dimensionar os projetos em 100 % da evapotranspiração média da cultura (demanda hídrica da cultura) para a região Nordeste, e em 80 % para as outras regiões do País.

²¹ Devido à pouca representatividade da área plantada com hortícolas na Bacia do PCJ (3,1%) e a baixa participação da irrigação em sulco e inundação nos métodos de irrigação, mostradas na tabela acima, essa cultura e esses dois métodos não serão considerados na medida adaptativa.

²² Média dos dados IBGE 2009 a 2012 (conforme tabela PCJ Agro)

²³ Alho, amendoim, batata doce, batata inglesa, cebola, ervilha, melancia e tomate.

²⁴ (EMBRAPA, 2014)

²⁵ (EMBRAPA, 2003)

²⁶ (MELLO e SILVA, 2009)

²⁷ (EMBRAPA, 2003)

²⁸ (CARVALHO, KORCELSKI, *et al.*, 2014)

²⁹ (NETO, 2014)

³⁰ (CARVALHO, KORCELSKI, *et al.*, 2014)

³¹ (SALASSIER, 2014)

³² (EMBRAPA, 2014)

³³ (EMBRAPA, 2014)

³⁴ (MELLO e SILVA, 2009)

³⁵ (EMBRAPA HORTALIÇAS, 2014)

Para se calcular a quantidade total de água a ser aplicada por irrigação (Irrigação Total – IT), é necessário se estabelecer a eficiência do sistema de irrigação (Ei) a ser utilizado.

$$IT = \text{Demanda hídrica irrigação} / E_i$$

Além da demanda hídrica das culturas é necessário conhecer os períodos de rega das culturas selecionadas para não superestimar a quantidade de água necessária para tal atividade. A seguir são detalhados os períodos de cada cultura de acordo com a sua fase de desenvolvimento mais crítica pela falta de água. O número de dias para a rega corresponde ao número de dias das fases críticas. As fases críticas em cada Tabela estão sinalizadas com o símbolo (*).

Fases do desenvolvimento da cana-de-açúcar (DOORENBOS e KASSAN, 1994)

Fases	I	II (*)	III	IV
Período (dias)	0-60	60-210	210-270	270-360

Fases de desenvolvimento do feijão (MENDONÇA, SOUSA, *et al.*, 2007)

Fases	I	II (*)	III (*)	IV
Período (dias)	15	24	37	15

Fases de desenvolvimento do milho (SOUZA, LIMA e CARVALHO, 2012)

Fases	I	II (*)	III (*)	IV
Período (dias)	15	30	59	11

Fases de desenvolvimento das hortaliças³⁶ (EMBRAPA, 2007).

Fases	I (*)	II (*)	III (*)	IV
Período (dias)		35-49	10-15	45-46

No caso de hortaliças considerar rega diária nas fases I e II e regas a cada 2 a 3 dias na fase III.

Para o citrus e café considerar o número de dias de rega o mesmo período de estiagem na Bacia PCJ, que em média ocorre de entre os meses de abril e setembro (COMITÊS PCJ, 2014).

Em resumo, devido ao quadro de distribuição dos métodos de irrigação na Bacia do PCJ, suas respectivas eficiências de irrigação, o percentual de área plantada das principais culturas e a viabilidade econômica de implantação de um método localizado de irrigação para uma determinada cultura agrícola, a medida adaptativa proposta será baseada na conversão da área de citrícolas (laranja, limão e tangerina) com irrigação por aspersão convencional para irrigação localizada por gotejamento. Para o cálculo do total de demanda para irrigação na Bacia PCJ, no cenário BAU e com a medida adaptativa em 2050, foram consideradas as demandas hídricas das principais culturas plantadas descritas na “Áreas plantadas das principais lavouras temporárias e permanentes na Bacia PCJ e suas respectivas % na participação na área total plantada”.

Influência na vazão

No cenário 2050 sem a implantação da medida adaptativa, a demanda total para a irrigação é de 19,2 mil m³/h, sendo que 76% desta, segundo os dados do Programa para efetivação do enquadramento da Bacia PCJ (COBRAPE, 2014), são atendidos mediante captação superficial. O total utilizado para irrigação com as águas superficiais no PCJ, assim, é 14,6 mil m³/h. Com a implantação da medida adaptativa (substituição da aspersão convencional pelo gotejamento

³⁶ Baseado nas fases da cultura da batata por ser a mais representativa entre as hortaliças na bacia do PCJ.

em área de citrícolas) o consumo será reduzido ao longo dos anos devido à eficiência do sistema localizado 8% maior que a aspersão convencional.

Por exemplo, no município de Bom Jesus dos Perdões-SP, com 67 ha irrigados com aspersão convencional, dos quais 21,14 ha são irrigados com citrícolas também por esse método, são demandados 304.369,2 litros/dia (253.641 litros/dia referente à demanda hídrica da cultura mais 20% de perda devido a eficiência de irrigação da aspersão convencional). Com a mudança para o sistema localizado a economia de água para irrigação deverá ser, no mínimo, de 8%. Ou seja, a demanda passa a ser de 284.077,92 litros/dia.

O efeito do incremento tecnológico resulta, no agregado, uma redução de demanda de 1,3 mil m³/h, equivalente a 9% da demanda superficial por irrigação. Esse expressivo volume é atingido dada a preponderância, como explanado acima, das culturas irrigadas pelo método incrementado. A demanda total de irrigação superficial resultante com a medida adaptativa é de 13,3 mil m³/h.

Custo de implementação da medida

A aspersão tem um custo de implantação, de modo geral, menor que a microaspersão e gotejamento. No entanto, quem escolher o método mais barato durante a implantação, poderá ter um custo operacional maior, como no caso da aspersão. Em média, os sistemas apresentam os seguintes valores de aquisição e implantação por hectare (FILHO, SÁ e SIMÕES, 2014):

- aspersão: US\$ 815 a US\$ 1.359
- microaspersão: US\$ 1.087 a US\$ 1.902
- gotejamento: US\$ 1.630 a US\$ 2.717

Os custos anuais de irrigação também devem ser computados e incluem os associados com a operação, manutenção, reparos do sistema de irrigação, energia, depreciações e mão de obra.

Custos fixos médios, custos de mão de obra, manutenção e energia para os sistemas de irrigação (R\$/ha/ano) (REZENDE, CARDOSO, *et al.*, 1999)

Sistema	Custo (R\$/ha/ano)			
	Custo fixo	Mão de obra	Manutenção	Energia
Aspersão	1450,00	384,00	72,50	530,00
Gotejamento	1680,00	240,00	84,00	255,00

Os custos da implantação do sistema irrigado aumentam por volta de 20% se comparados com os custos da implantação da cultura tradicional, porém esse aumento de custos se reflete em aumentos significativos da produção (PATINO, PASCHOALETTO e ALCÂNTRA, 2014).

Resumo dos resultados



Análise Custo - Benefício da Medida J-Tecnologia irrigação

Custo total da medida (mil R\$)	303.106	
Custo total da medida em VPL (mil R\$)	227.971	
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)	RCP 4.5	RCP 8.5
Abastecimento	6.816	8.552
Indústria	179.416	68.993
Rural - dessedentação	0	0
Rural - irrigação	0	0
Qualidade	0	-226
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)	186.231	77.319
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)	0,09	0,23

Elasticidade-preço da demanda por água de irrigação

Carrera-Fernandez e Pereira (2002), estudando a bacia do rio Vaza-Barris, estimou a elasticidade-preço da demanda por água para a irrigação em -0,97. O mesmo autor, (2000), estudando a bacia hidrográfica do rio Pirapama, chegou ao grau de -0,96, ou seja, ambas elasticidades praticamente unitárias (e assim muito significativas para a gestão da demanda via preços).

Os graus de elasticidade unitários indicam que há uso de técnicas pouco eficientes quanto ao consumo de água, o que não é o caso na bacia do PCJ³⁷. Uma vez conhecidas as técnicas de irrigação, diferente dos diversos processos produtivos industriais que ocorrem na bacia do PCJ, optou-se por modelar uma medida adaptativa para irrigação como descrito - incrementando a eficiência das técnicas de irrigação.

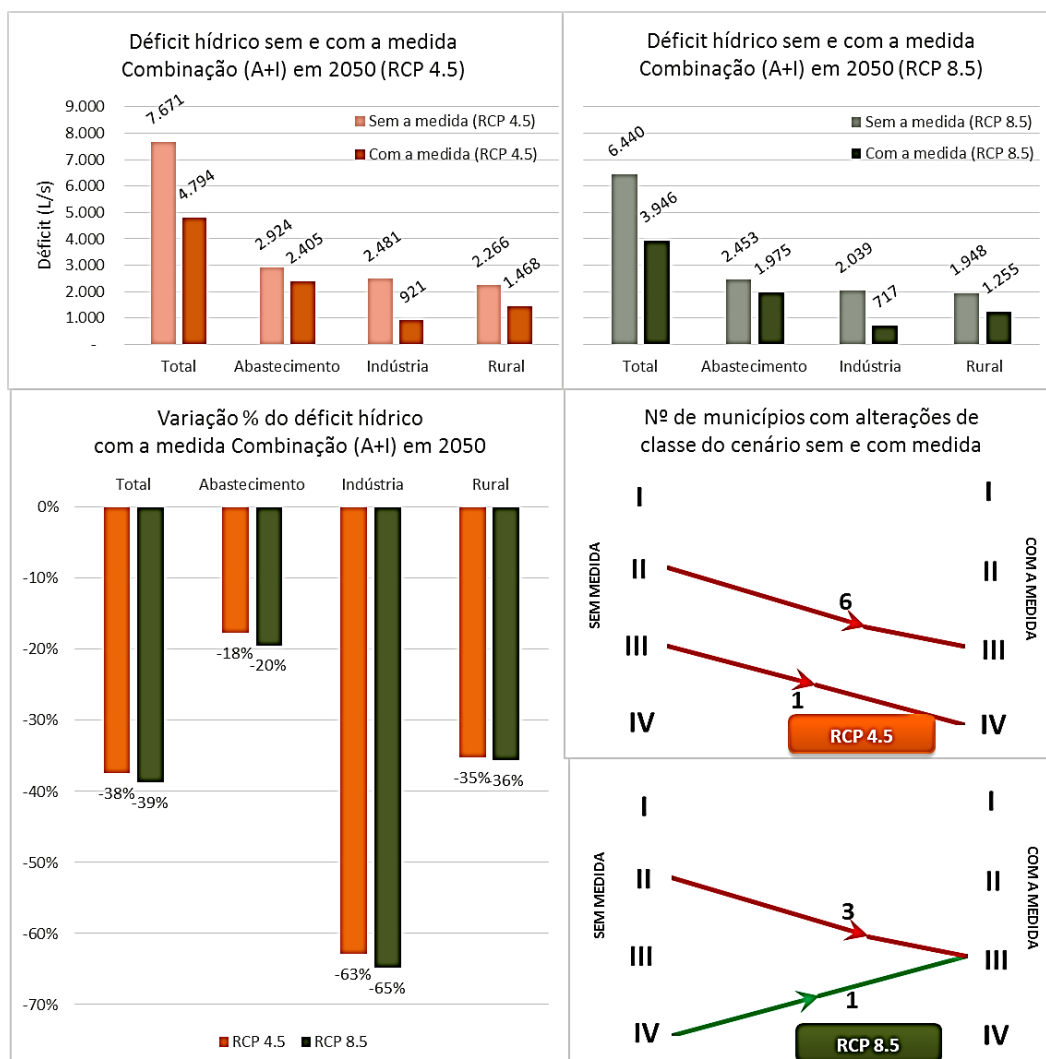
A tendência de um acréscimo no valor cobrado pela água para culturas cuja irrigação é eficiente e de alto valor agregado, como o exemplo dos citros irrigados no PCJ, devem apresentar elasticidades menores, viabilizando a cobrança. Em qualquer caso porém, cabe analisar a vulnerabilidade econômica da agricultura no local de interesse para se compreenderem as questões distributivas de eventuais sistemas de cobrança pela água.

³⁷ A irrigação de outras culturas, como o arroz no Rio Grande do Sul, mantém sistemas de irrigação de baixo valor agregado que, mesmo mediante baixos valores de cobrança pelo uso de água, poderiam significar a inviabilização da atividade.

3 MEDIDAS ADAPTATIVAS COMBINADAS

Algumas medidas adaptativas já apresentadas foram combinadas, como se fossem aplicadas simultaneamente e o resultado dessa aplicação simultânea foi avaliado com base na ACB e são apresentados a seguir.

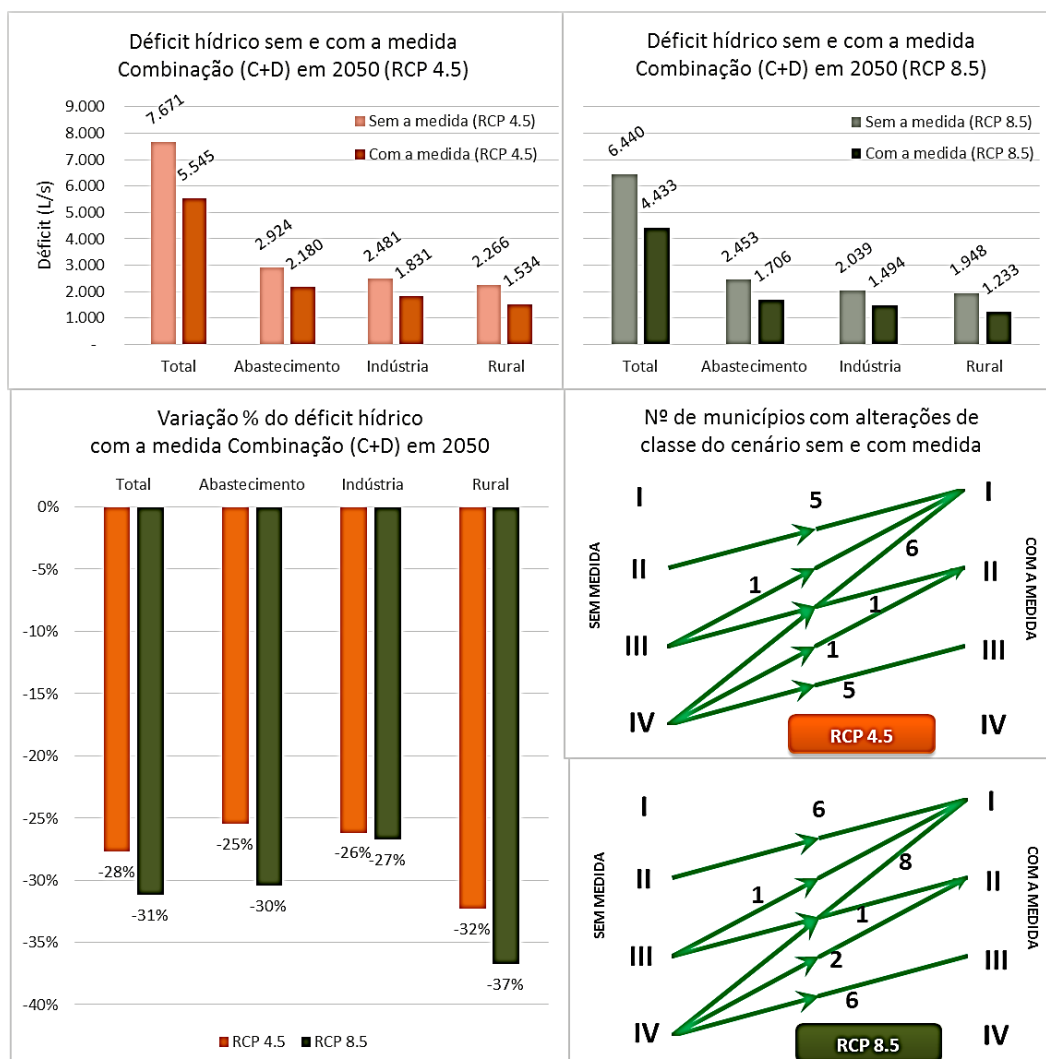
3.1 (A+I) CONSTRUÇÃO DE BARRAGENS E ADUTORAS + AUMENTO DO VALOR DA OUTORGA PARA INDÚSTRIA



Análise Custo - Benefício da Medida Combinação (A+I)

Custo total da medida (mil R\$)			6.405.181
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			4.114.323
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)		RCP 4.5	RCP 8.5
Abastecimento		149.692	131.105
Indústria		7.219.951	7.029.655
Rural - dessedentação		1.826	1.826
Rural - irrigação		-42.663	-42.663
Qualidade		-4.535	7.003
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)		7.324.270	7.126.926
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)		0,04	0,04

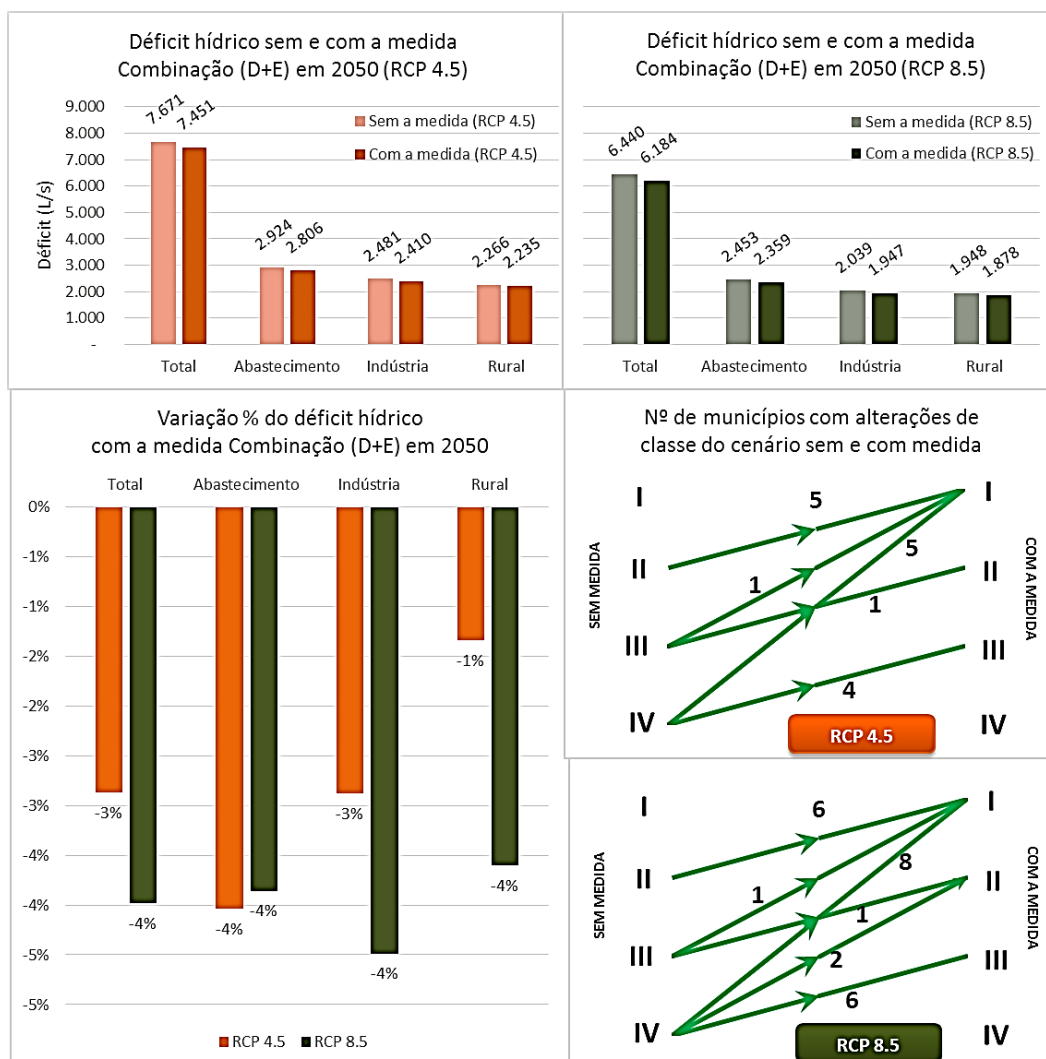
3.2 (C+D) AUMENTO DE EFICIÊNCIA DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO+ AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO



Análise Custo - Benefício da Medida Combinação (C+D)

Custo total da medida (mil R\$)	12.376.990	
Custo total da medida em VPL (mil R\$)	8.422.532	
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)	RCP 4.5	RCP 8.5
Abastecimento	241.164	170.570
Indústria	898.314	533.435
Rural - dessedentação	1.826	0
Rural - irrigação	4.391	4.391
Qualidade	340.189	341.186
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)	1.485.884	1.049.582
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)	0,43	0,62

3.3 (D+E) AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE ESGOTO+REÚSO DE ÁGUAS CINZAS EM RESIDÊNCIAS



Análise Custo - Benefício da Medida Combinação (D+E)

Custo total da medida (mil R\$)			5.297.718
Custo total da medida em VPL (mil R\$)			4.562.582
Benefícios anuais em 2050 (mil R\$)		RCP 4.5	RCP 8.5
Abastecimento	55.021		52.928
Indústria	187.145		145.263
Rural - dessedentação	0		0
Rural - irrigação	0		0
Qualidade	137.830		341.186
Benefício anual total em 2050 (mil R\$)		379.995	539.377
Relação Custo/Benefício médio anual (em 2050)		0,92	0,65

4 MEDIDAS ADAPTATIVAS ANALISADAS DE FORMA QUALITATIVA

4.1 (K) OUTRAS ALTERNATIVAS PARA IRRIGAÇÃO

Objetivo da medida

Identificar mecanismos alternativos para redução de demanda de água para irrigação.

Descrição geral da medida

Dada a demanda de água para irrigação já discutida na medida J – Aumento de eficiência na demanda de irrigação, outras alternativas técnicas e de gestão que reduzam a demanda de água para irrigação são levantadas e listadas a seguir.

Desestímulo ao cultivo de culturas com alta demanda de água: o objetivo nesse caso é o desestímulo das atividades agrícolas que demandam água para irrigação, tornando a demanda para tal uso nula. Essa hipótese poderia ser implementada por uma outorga de valor proibitivo para os usos rurais que privilegiaria, assim, o uso doméstico do recurso hídrico face ao cenário de mudanças climáticas.

Por outro lado, com a implementação dessa medida a produção agrícola da grande maioria das culturas seria economicamente inviável durante o período de estiagem.

Implementação da técnica de Integração Lavoura-Pecuária -ILP: uma outra alternativa que reduziria a necessidade de irrigação pensando em ciclos de longos períodos, é a utilização da ILP, uma vez que essa técnica viabiliza a alternância ou consórcio de atividades agrícola e pecuária dentro da mesma propriedade, de maneira equilibrada diminuindo a demanda por irrigação das atividades agrícolas. O solo é explorado na maior parte do ano, criando condições para um aumento da oferta de produtos agrícolas e pecuários simultaneamente (ALVARENGA e NOCE, 2005).

Além disso, a técnica de ILP propicia menor uso de fertilizantes e corretivos do solo, diminuindo o escoamento desses componentes para corpos d'água. Da mesma forma, associada a técnica de plantio direto, a ILP reduz a erosão do solo, o que colabora para redução do impacto da atividade agropecuária na qualidade da água em diversos parâmetros (GALHARTE e CRESTANA, 2010).

Zoneamento Agrícola de Risco Climático: outra alternativa para a redução de demanda por irrigação é a utilização do Zoneamento Agrícola de Risco Climático, desenvolvido pela Embrapa, que permite a identificação da melhor época de plantio de 40 culturas nos diferentes ciclos de cultivares e tipos de solo para os municípios brasileiros. O objetivo é minimizar os riscos relacionados aos fenômenos climáticos que podem causar perdas na produção. A ferramenta foi utilizada pela primeira vez em 1996 e tem revisões anuais que são publicadas por meio de portarias no Diário Oficial e no site do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2014).

Apesar de não serem analisadas nesse estudo quanto à sua influência na vazão ou qualidade da água se aplicadas na bacia, as alternativas descritas acima apresentam benefícios correlatos a recursos hídricos no que diz respeito à produtividade agrícola e saturação de recursos naturais.

4.2 (L) ADOÇÃO DE PRÁTICAS CONSERVACIONISTAS

Objetivo da medida:

Garantir e/ou aumentar as vazões naturais de estiagem (mínimas) na bacia através da aplicação de técnicas vegetativas e mecânicas de conservação em áreas prioritárias na bacia para esse fim.

Descrição geral da medida

De maneira simplificada, a medida se compõe da adoção de práticas e manejos conservacionistas em propriedades rurais da bacia com vistas à conservação de água. Ela é inspirada essencialmente pelo Programa Produtor de Água da ANA (e similares), cujo objetivo é a melhoria dos aspectos de quantidade e qualidade da água em mananciais estratégicos, através de ações de manejo e conservação do solo e restauração florestal (ANA, 2012).

Essas práticas e manejos são citados por diversos autores e especialistas e podem ser agrupadas, entre outros, como segue:

- Práticas conservacionistas de caráter vegetativo
 - Reflorestamento com espécies nativas (adequadamente utilizada);
 - Implantação de plantio direto em áreas agrícolas;
 - Integração Agricultura, Silvicultura e Pecuária;
 - Recuperação das pastagens
 - Conservação de fragmentos florestais e recomposição das APPs e RL;
 - Recuperação e proteção de nascentes.
- Práticas conservacionistas de caráter mecânico
 - Construção de barraginhas de captação e infiltração de águas de chuva;
 - Implantação de terraceamento em nível em áreas agrícolas e pastagens;
 - Readequação / relocação de estradas vicinais;
 - Construção de baciões de retenção em estradas vicinais.

Sabe-se que, apesar dessas atividades gerarem alguns benefícios ao produtor rural, as mesmas não são espontaneamente adotadas. Os principais benefícios dessas tem caráter ecossistêmico e transpassam a fronteira da propriedade que as adota, além de necessitarem de investimentos iniciais e gerarem possíveis custos de oportunidade ao produtor. Logo, a ampla adoção das mesmas em uma bacia pressupõe o uso de mecanismos, podendo estes ser de comando e controle, impondo sua adoção, ou através incentivos (econômicos ou não) para que sua adoção por parte dos produtores se torne atrativa.

Nesse sentido, destacam-se os mecanismos de pagamento por serviços ambientais (PSA), e, no caso da água, a experiência brasileira com o Programa Produtor de Água (ver quadro abaixo). Este é um exemplo prático de como tornar viável a implantação dessas medidas em uma bacia hidrográfica, já que prevê que os projetos contemplem o pagamento pelo serviço ambiental aos produtores que se proponham, voluntariamente, a adotar práticas e manejos conservacionistas em suas propriedades com vistas à conservação de solo e água e assim favorecem os serviços ecossistêmicos e geram externalidades positivas à sociedade.

Programa Produtor de Água

Responsável: ANA – Gerência de Uso Sustentável de Água e Solo – GEUSA

Abrangência do programa: 16 projetos

- Região Norte: Acre(1); Tocantins(1)
- Região Sul: Paraná(1); Santa Catarina(1); Rio Grande do Sul(1)
- Região Centro-Oeste: Mato Grosso(1); Goiás(2);
- Região Sudeste: São Paulo(3); Rio de Janeiro(2); Espírito Santo(1); Minas Gerais(2)

O Programa Produtor de Água tem abrangência nacional e visa estimular o instrumento de Pagamento por Serviços Ambientais – PSA com o objetivo de conservar os recursos hídricos no Brasil. O modelo de PSA é adotado pois acredita-se que, diferente do subsídio agrícola, recompensa o agricultor que se propõe a conservar ou ampliar os serviços ecossistêmicos tendo o pagamento proporcional ao serviço prestado.

Para tanto, o Programa prevê a orientação ou apoio a projetos que visem à redução da erosão e do assoreamento de mananciais no meio rural, propiciando a melhoria da qualidade e a regularização da oferta de água em bacias hidrográficas. Os projetos são implantados em trechos de bacias hidrográficas, geralmente microbacias com representatividade em nível municipal, podendo alcançar regiões maiores.

Os projetos são desenvolvidos para que o produtor rural consiga dotar práticas e manejos conservacionistas em sua propriedade visando a conservação de solo e água. Sendo assim os projetos podem ser desenvolvidos por arranjos organizacionais compostos por estados, municípios, comitês de bacia, companhias de abastecimento e geração de energia, dentre outras instituições públicas ou privadas.

A adesão ao programa é voluntária, mas como dito anteriormente o produtor que implementa o projeto na sua propriedade recebe um montante referente o pagamento por serviço ambiental – PSA prestado. Os projetos contemplam a adoção, por parte dos produtores de boas práticas agrícolas, tais como práticas mecânicas, manutenção e recomposição da vegetação natural e agropecuária sustentável, que contribuam para o abatimento efetivo da erosão e da sedimentação e aumento da infiltração de água na bacia hidrográfica.

Os pagamentos são feitos por entidades escolhidas pelo arranjo organizacional, durante ou após a implantação de cada projeto individual da propriedade (PIP). Os valores são definidos com base em estudos econômicos desenvolvidos para a região onde ele se insere e na sua eficácia no abatimento da erosão. Para tanto, contratos são celebrados entre a entidade responsável por repassar os recursos dos agentes financiadores e os produtores participantes.

Fonte: (ANA, 2012)

Os serviços ambientais gerados por essas práticas são múltiplos e sua magnitude pode variar muito em função do projeto e as especificidades do local. Dentre os principais serviços ambientais é possível citar o controle de erosão, por consequência a redução do assoreamento e melhora na qualidade da água (menor turbidez), diminuição de enxurradas e vazões de pico (menos inundações), maior carregamento do lençol freático, aumento de produtividade agrícola, entre outros. Todos esses serviços são mais ou menos passíveis de serem mensurados.

Considerando o risco de escassez hídrica, e no caso de uma ACB, torna-se particularmente importante avaliar a magnitude dos resultados que tais medidas, ou seja a influência causada em parâmetros físicos de qualidade e quantidade de água na bacia, estes, por sua vez impactam parâmetros econômicos associados.

No entanto, embora seja praticamente unânime entre autores a existência de impactos positivos na qualidade e quantidade de água, existe ainda uma escassez de estudos quantitativos dos mesmos. Isso se deve, entre outros, à complexidade ecossistêmica envolvida em uma bacia, sua forte influência de parâmetros locais e a falta de dados empíricos.

Existem poucos estudos empíricos que demonstram quantitativamente os efeitos de medidas deste tipo. Shilling e Libra (2003) relatam que em duas áreas em Iowa nos EUA o escoamento de base aumentou de 20 a 30% num período de 60 anos, com a hipótese de que a razão seja o aumento de projetos de conservação de solo e água durante a década de 1940.

Mais frequentes são estudos que utilizam modelos numéricos a fim de simular o comportamento esperado de mudanças de uso do solo em bacias. Embora de suma relevância, esses modelos são limitados em sua representação do sistema físico porque contém muitas simplificações e suposições (SLOTO, 2008).

Quando somente os efeitos nas vazões de bacias sujeitas a projetos de reflorestamento e/ou florestamento são considerados, observam-se diversos possíveis resultados. Especificamente quanto ao aumento das vazões de estiagem, Calder (2000) argumenta que diferentes processos hidrológicos específicos do local influenciam nos efeitos que as florestas podem ter sobre esse parâmetro, aumentando ou diminuindo-o, apontando a importância de estudos locais. Ao tratar de técnicas vegetativas, Valente e Gomes (2011) argumentam que a maneira de usar a vegetação pode ser mais importante do que a vegetação em si.

No Brasil, ainda existem muito pouco estudos nesse tema. Chaves e Camelo (2012) modela os benefícios hidrológicos e econômicos de três programas de conservação de solo aplicados à bacia do Pipiripau (245 km²) no cerrado, indicando que, se amplo reflorestamento e boas práticas de gestão fossem implantadas na bacia, haveria um aumento anual de 755 x 106 m³ no escoamento sub superficial na estação seca.

Valente e Gomes (2011) aponta, em uma experiência empírica no país, resultados preliminares de ações em 2 bacias experimentais na região de Viçosa-MG, as quais passaram por processos de degradação de seus sistemas hidrológicos nos últimos 40 anos. Mesmo com tempo curto de avaliação consegue indicações de variação de comportamentos hidrológicos por efeito de técnicas de manejo, por exemplo: um aumento médio de 40% da vazão na bacia experimental 1, aumento na vazão mínima de 22,85 % na mesma bacia no período de 2001/2007 e um incremento de 61,25 % das vazões mínimas entre os anos de 2002 e 2007 na segunda bacia.

Esses resultados, sejam modelos ou experiências empíricas, são de extrema importância para uma percepção quantitativa dos efeitos da medida. Por outro lado, evidenciam a impossibilidade de se extrapolar as experiências de uma bacia a outra, devido, entre outros, aos diversos fatores acima apresentados. Estudos empíricos que exigem um grande esforço de coleta de dados numa grande escala temporal, e, alternativamente modelos que tentem considerar ao máximo as especificidades do local, devem ser desenvolvidos para que os efeitos nos parâmetros físicos sejam corretamente valorados.

Aplicação no estudo

A impossibilidade de considerar essa medida nesta aplicação, reside principalmente impossibilidade de previsão dos resultados físicos da mesma, ou seja, sua influência na qualidade e quantidade da água nos corpos d'água, os quais influenciam a avaliação econômica da medida. Existe uma forte lacuna de informações que possam ser aplicadas de

forma razoavelmente confiável neste contexto, com poucas modelagens ou dados empíricos para o Brasil e a aparente inexistência de estudos focados na bacia de estudo. Outro fator complicador explicitado por estudos desse tipo é a escala de estudo, onde a resposta de bacias muito extensas (como a do PCJ) a essas práticas fica “mascarada” por outros fatores.

A aplicação dessa medida se refletiria numa ampla adoção de práticas conservacionistas na bacia do PCJ. Embora já existam experiências da aplicação do Programa Produtor de Água na mesma, com destaque para o caso emblemático do município de Extrema, para que a mesma tenha impacto significativo na escala considerada deveria ser amplamente adotada.

Nesse sentido, vale destacar o trabalho presente no relatório final do *“Plano diretor para recomposição florestal visando produção de água nas bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí”* elaborado pela Proesp em 2005. O documento traz, entre outros, diretrizes para adoção de técnicas conservacionistas (não só de reflorestamento), a determinação, através de critérios objetivos, de microbacias prioritárias para sua adoção visando a produção de água e os custos associados, sendo um bom ponto de partida para futuras aplicações.

4.3 (M) CAMPANHAS DE CONSCIENTIZAÇÃO

Objetivo da medida

Redução do consumo de água por meio da disseminação de campanhas publicitárias visando a conscientização dos usuários para o uso racional de água.

Descrição geral da medida

As campanhas que visam a conscientização dos usuários para o uso racional de água, podem ser caracterizadas como campanhas publicitárias de utilidade pública, uma vez que têm por objetivo, através do fornecimento de informações e orientações, pretende orientar um comportamento específico na população, visando um benefício social (PRADO e LOPES, 2011).

Muito difundidas no Brasil e Estados Unidos, essas campanhas, quando aplicadas, são geralmente acompanhadas por outras medidas de conservação de água como correção de falhas físicas no sistema de distribuição, incentivos para substituição de aparelhos hidráulicos obsoletos, descontos na conta de água, o que dificulta a avaliação da efetividade das campanhas de sensibilização na redução do consumo isoladamente.

Uma vez, que a maior parte dos programas de conservação são compostos por várias medidas, é difícil desagregar o benefício e vincular a redução do consumo a apenas uma medida. Syme (2000), cita a surpreendente falta de dados relativos a eficiência de campanhas de conscientização para a redução do consumo de água, o que dificulta a avaliação de custo-benefício de dessa medida bastante difundida.

Almeida (2009) pondera que campanhas de conscientização relacionadas ao uso racional de insumos naturais devem ser de alguma maneira constante, uma vez que sem as campanhas corre-se o risco do consumo aumentar.

No caso desse estudo a conscientização para consumo racional de água foi pensada como um programa que conta com campanha publicitária com veiculação via televisão, mídias impressas e rádio para a região da bacia do PCJ.

Os dados de redução de consumo de água relacionados a medidas voluntárias são bastante variáveis, oscilando de 60% (SYME, NANCARROW e SELIGMAN, 2000) a 11% (ALMEIDA, 2009), porém variando principalmente entre 15% e 30% (SYME, NANCARROW e SELIGMAN, 2000). No setor de energia elétrica estima-se uma redução de 15% a 30% no consumo somente com a mudança de hábitos do usuário final (PROCEL, 2006), que pode ser incentivada via campanhas de conscientização. A pesquisa de Almeida contou com 3 meses, maio a agosto, (durante o período de seca) de veiculação da campanha para uso racional de água na forma de cartazes e palestras em uma instituição de ensino superior.

Na literatura foram encontrados dados de redução muito variáveis referentes a resultados de campanhas de conscientização para uso racional da água, que vão desde reduções imperceptíveis até 60%. Um estudo brasileiro aplicado em pequena escala considerou usuários de um campus universitário (ALMEIDA, 2009) e teve como ações para a conscientização de usuários palestras e aplicação de cartazes e panfletos.

Exemplos de custo de implementação da medida

A cidade de Dallas nos Estados Unidos apresenta um programa de conservação de água com inúmeras medidas, dentre concerto de vazamentos, incentivos econômicos para troca de aparelhos hidráulicos obsoletos em residências a campanhas de educação com crianças e

sensibilização da população (DALLAS WATER UTILITIES & ALAN PLUMMER ASSOCIATES, INC., 2010). No ano fiscal de 2012-2013 o orçamento previsto somente para campanhas de conscientização para uso racional de água foi de US\$ 1.320.000,00 (R\$ 2.673.924,00 em 2012) compreendendo gastos com comerciais via televisão, radio, e mídias impressas como jornais e revistas da cidade (DALLAS WATER UTILITIES, 2014).

Um estudo realizado no Reino Unido, avaliou uma campanha de sensibilização da população para redução do consumo de água em uma comunidade com 8 mil residências. O resultado, da campanha que teve duração de um mês com propagandas em rádio, jornais, pontos de ônibus e correspondência e custo total de 73 mil libras (R\$277.735,46 em 2014), não apresentou redução de consumo perceptível (HOWARTH e BUTLER, 2004).

4.4 (N) ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DE REÚSO DE ÁGUA INDUSTRIAL

Objetivo da Medida

Reutilizar água tratada de efluentes domésticos na indústria, de forma a obter melhora na qualidade da água na região de estudo, oriunda da redução de DBO da água residual da indústria.

Descrição Geral da Medida

Reúso pode ser definido, como uma medida de utilização de água residuária ou água de qualidade inferior, tratada ou não (FIESP, 2004).

Sua utilização é válida quando a qualidade das águas disponíveis é baixa e sua disponibilidade varia em função da sazonalidade. A utilização de reúso de água pode necessitar de um reservatório temporário que auxilia a indústria a suprir sua demanda hídrica e ameniza os impactos da sazonalidade. É importante relatar que o balanço hídrico da indústria continuará o mesmo e que a medida não resulta em aumento da quantidade de água.

O reúso da água pode ser feito de forma direta ou indireta. O reúso é direto quando o efluente já tratado é encaminhado diretamente ao local de reúso, e o uso indireto ocorre quando o efluente tratado é lançado no corpo d'água para ser utilizado à jusante de forma diluída e não planejada (FIESP, 2004).

Pode-se dividir o reúso direto planejado nas seguintes modalidades de acordo com seus fins (Resolução nº 54/2005): agrícolas; industriais; recreacionais; domésticos; para manutenção de vazões e para recarga de aquíferos subterrâneos.

A água de reúso proveniente de estações de tratamento de efluentes (ETE) urbanos para processos industriais tem sido utilizada, predominantemente, em sistemas de refrigeração, em especial, nos empreendimentos localizados próximos às ETE, apesar de existirem várias formas de aproveitamento de águas residuais tratadas.

O potencial de utilização de água de reúso na indústria proveniente das ETEs é muito relevante em função do grande volume de água conduzido para as mesmas e do tratamento submetido possibilitar a sua aplicação para alguns fins indústrias.

Como parte das ações para melhorar a qualidade de água da Bacia PCJ e alcançar o enquadramento especificado no Plano de Bacias, com horizonte de 2035, foi proposto a utilização de água de reúso proveniente das ETEs domésticas para fins de usos industriais. Nesse estudo foram identificados os municípios que possuem potencial para utilizar água de reúso em fins industriais, esse levantamento foi feito comparando-se o volume de esgoto tratado e a demanda industrial projetada para 2035 em cada município da Bacia PCJ. A identificação possibilitou estimar o total investido em reúso para cada município.

Após a identificação das cidades que possuem demanda para reúso de água na indústria, foi possível estabelecer o montante demandado pelas mesmas, valor utilizado como base para o cálculo da reserva necessária e da estimativa de custos para tratamento e reservação.

Os dados que definem valores de referência para transporte, tratamento de esgoto e para reservatórios foram baseados no Programa Estadual de Apoio à Recuperação de Águas (REAGUA) cujo objetivo é apoiar ações que visam melhorar a qualidade da água.

A proposta elaborada pela (COBRAPE, 2010) é um estudo inicial cujo objetivo era identificar os municípios com potencial de utilização de água de reúso na indústria e estimar o custo para implantação do mesmo sem calcular o custo de transporte até a unidade consumidora.

Para utilização de água de reúso na bacia é necessário um estudo mais aprofundado que leve em consideração a especificidade de cada atividade industrial presente na bacia e a sua respectiva necessidade hídrica em relação à quantidade e qualidade.

A utilização de água de reúso tende a aumentar no futuro. Atualmente o projeto Aquapolo trata água produzida na Estação de Tratamento de Esgotos ABC para fins industriais destinada ao Polo Petroquímico do ABC Paulista, obtendo uma economia de água equivalente ao consumo de uma cidade de 500.000 habitantes.

Ecologia Industrial

A ecologia industrial é um conceito de interconexão entre processos de produção no tangente à água, energia, resíduos e materiais. Seu nome advém da pretensão de mimetizar o ambiente natural como um sistema fechado - ou rumo à ele. Há de se ter: (i) complementaridade máxima entre os processos produtivos das unidades; (ii) compromisso de geração de efluentes, resíduos e emissões rumo ao zero; e (iii) consumo otimizado de utilidades.

Internacionalmente, a ecologia industrial já se traduz de forma prática e empreendedora nos Eco Industrial Parks - EIP, condomínios cujos fluxos de matéria e energia se integram por meio da adoção de tecnologias disponíveis. O EIP de Kalundborg, cidade costeira na Dinamarca pioneira no desenvolvimento da ecologia industrial, consome 25% a menos de água graças à reciclagem e circulação - traduzindo-se em economia anual de 2,9 milhões de m³.

A concepção que fundamenta este modelo procura fundir o conceito de ecologia industrial a um modelo de adensamento industrial, indo além da sustentabilidade de cada empreendimento para vir a contemplar a sustentação ambiental de um todo. Enquanto as indústrias localizadas na bacia do PCJ não compartilham de um distrito ou um parque industrial, há uma notável concentração em Campinas, Jundiaí, Piracicaba, Louveira, Sumaré, Paulínia, Limeira e Vinhedo, que juntos concentram 50% do VAB do setor. A conversão de cadeias produtivas em sistemas de cooperação estratégica seria potencializada por adensamentos industriais já ordenados, mas não é impedida pela distância entre as indústrias de tais municípios.

O principal impulso para a ecologia industrial pode justamente ser a antevisão de déficits hídricos severos, tornando como lógica a decisão empresarial de mudança - seja em processos produtivos próprios, seja pela interconexão com outras indústrias, seja pela realocação das unidades industriais. Não obstante o impulso pelo risco, as indústrias que adotam a ecologia industrial apresentam eco-vantagens competitivas tais como: (i) maior produção com o mesmo insumo; (ii) maior valor de utilização com a mesma quantidade de recursos físicos; (iii) maior competitividade para o mesmo mercado; e (iv) maior retorno com a mesma quantidade de recursos financeiros.

4.5 (O) MEDIDAS NA INDÚSTRIA NÃO RELACIONADAS AO PROCESSO PRODUTIVO

Objetivo da medida

Reduzir a demanda de água dos funcionários através da adoção de tecnologias com menor consumo de água.

Descrição geral da medida

A crescente escassez hídrica, o aumento dos conflitos em função dos usos múltiplos da água, os custos associados a sua cobrança, aliado a imagem positiva das empresas que adotam práticas conservacionistas tem estimulado o setor industrial a adotar práticas que reduzam o consumo de água.

A troca de equipamentos considerados obsoletos ou ineficientes por equipamentos eficientes, que são aqueles capazes de suprir as funções de determinado uso utilizando uma quantidade de água menor que o equipamento considerado ineficiente, é uma prática comum de conservação de água.

Os equipamentos utilizados para satisfazer as necessidades hídricas em uma residência, como chuveiro, torneiras, máquina de lavar roupa, vasos sanitários e máquina de lavar louça, assim como na indústria, no caso, caldeiras, bombas, etc, passaram por uma grande evolução nos últimos anos, sendo projetados para consumir e desperdiçar uma quantidade de água cada vez menor através da reformulação de design e incorporação de novas soluções de engenharia, representando um ganho em termos de eficiência.

Uma parcela do setor industrial adotou como prática a compra de equipamentos com menor consumo de água em detrimento dos que realizam a mesma função com maior consumo. Outra prática comum é a substituição de equipamentos com tecnologia defasada que possuem grande consumo de água por outros que realizam a mesma função com menor gasto de água, essa ação é tomada quando a relação custo-benefício é favorável ou em indústrias localizadas em bacias onde a oferta de água é limitada.

5 BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA DAS BACIAS PCJ. Agência das Bacias PCJ. **Agência PCJ**, 2012. Disponível em: <<http://www.agenciapcj.org.br/novo/index.php>>. Acesso em: Agosto 2014.

ALMEIDA, H. M. **Campanha de conscientização de usuários quanto ao uso racional de água no campus VI do CEFET MG**. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2009.

ALVARENGA, R. C.; NOCE, M. A. **Integração lavoura e pecuária**. Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas, p. 16. 2005.

ALVES, D. C. O. et al. **Estimação da elasticidade-preço da demanda dos clientes comerciais e industriais da SABESP**. FIPE - Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas de São Paulo. 2009.

ANA. **Manual Operativo do Programa Produtor de Água**. Agência Nacional de Águas. Brasília, p. 84. 2012.

ANDRADE, T. A. et al. Saneamento urbano: a demanda residencial por água. **Pesquisa e Planejamento Econômico**, v. 25, p. 427-448, 1995.

ARES PCJ. **Tarifas de Água praticadas na faixa de Consumo Mínimo na Categoria Residencial Normal - Data base: março/2014**. Agência Reguladora dos Serviços de Saneamento das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí. 2014.

BATHIA, R. . C. R.; WINPENNY, J. **Water conservation and reallocation: best practice cases in improving economic efficiency and environmental quality**. World Bank; ODI. 1995.

BJORNLUND, H.; MCKAY, J. Aspects of water markets for developing countries: Experiences from Australia, Chile, and the US. **Environment and Development Economics**, n. 7, 2002.

C&C. **C&C Casa e Construção**, 2014. Disponível em: <<http://www.cec.com.br/>>. Acesso em: Agosto 2014.

CALDER, I. R. Land use impacts on water resources. **Land Use and Water Resources Research**, 2000.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; PEREIRA, R. **A cobrança pelo uso da água na Bacia do Rio Pirapama**. Companhia Pernambucana de Meio Ambiente (CPRH); Department for International Development. Recife. 2000.

CARRERA-FERNANDEZ, J.; PEREIRA, R. **A cobrança pelo uso da água em bacias de domínio da União: O caso da Bacia de Vaza-Barris**. VII Encontro Regional de Economia da ANPEC. 2002.

CARVALHO, I. R. et al. DEMANDA HÍDRICA DAS CULTURAS DE INTERESSE AGRONÔMICO. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, p. 969-985, 19 set. 2014. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/DEMANDA%20HIDRIC A.pdf>>.

CARVALHO, R. C. D. **GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: CONFLITO E NEGOCIAÇÃO NA QUESTÃO DAS ÁGUAS TRANSPOSTAS DA BACIA DO PARAÍBA DO SUL**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 237. 2005.

CHAVES, H. M. L. **Avaliação econômica e socioambiental do retorno do investimento da implantação do Projeto Produtor de Água na Bacia do Ribeirão Pipiripau (DF/GO)**. Universidade Nacional de Brasília. 2012.

CHAVES, H. M. L.; CAMELO, A. P. Groundwater discharge as affected by land use change in small catchments: A hydrologic and economic study in Central Brazil. In: TREIDEL, H.; BORDES, J. L. M.; GURDAK, J. J. **Climate change effects on groundwater resources**. Londres: Taylor & Francis, v. I, 2012. p. 49-62.

CHRISTOFIDIS, D. **A água e a crise alimentar**. Encontro das águas. IICA. Fortaleza. 1997. p. 14.

CIRRA/FCTH/DTC ENGENHARIA. **Conservação e reúso de água. Manual de orientações para o setor industrial**. FIESP/CIESP. p. 92. 2004.

CNI. **Água, Indústria e Sustentabilidade**. CNI- Confederação Nacional da Indústria; GEMAS. Brasília. 2013.

COBRAPE. **Plano das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá 2010-2020, com propostas de atualização do enquadramento dos corpos d'água e de programa para efetivação do enquadramento dos corpos d'água até o ano de 2035**. p. 815. 2010.

COBRAPE. **Plano Diretor de Aproveitamento de Recursos Hídricos para a Macrometrópole Paulista, no Estado de São Paulo**. Departamento de Águas e Energia Elétrica. p. 207. 2013.

COBRAPE. **Programa para efetivação do enquadramento - Volume III- Plano de Ação**. Agência de Bacias PCJ. 2014.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e uso da água. **Bahia Agríc.**, p. 57-60, 2005. Disponível em: <http://www4.seagri.ba.gov.br/pdf/socioeconomia4_v7n1.pdf>.

COMITÊS PCJ. Comitês PCJ, 2014. Disponível em: <http://www.comitespcj.org.br/index.php?option=com_content&view=featured&Itemid=101>. Acesso em: 3 setembro 2014.

DALLAS WATER UTILITIES & ALAN PLUMMER ASSOCIATES, INC. **City os Dallas Water Conservation- Five-Year Strategic Plan**. Dallas Water Utilities. p. Dallas. 2010.

DALLAS WATER UTILITIES. **City of Dallas - Water Conservation Plan**. Dallas Water Utilities. Dallas. 2014.

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Efeitos da água no rendimento das culturas**. FAO. Roma, p. 212. 1994.

EMBRAPA. **Nessecidade hídrica no cultivo de feijão, trigo, milho e arroz no Bioma Cerrado**. Brasília. 2003.

EMBRAPA. **Recomendações técnicas para cultivo de hortaliças em agricultura familiar.** Embrapa Hortaliças. Brasília. 2007.

EMBRAPA. Cultivo do milho. **EMBRAPA**, 19 set. 2014. Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho_6_ed/imanejo.htm#consumo>.

EMBRAPA. Sistema de Produção de Citros para o Nordeste. **Embrapa**, 20 set. 2014.

EMBRAPA HORTALIÇAS. Irrigação. **Embrapa Hortaliça**, 20 set. 2014. Disponível em: <http://www.cnph.embrapa.br/paginas/sistemas_producao/cultivo_tomate_industrializacao/irrigacao.htm>.

ENGECORPS. **Bacia do Rio Piracicaba Estudos de Disponibilidade Hídrica.** Petrobras. p. 83. 2008.

FERES, J.; REYNAUD, A. **Demanda por água e custo de controle da poluição hídrica nas indústrias da Bacia do Rio Paraíba do Sul.** IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. 2005.

FERNANDES, D. R. M.; NETO MEDEIROS, V. B.; MATTOS, K. M. C. **Viabilidade econômica do uso da água da chuva: um estudo de caso da implantação de cisterna na UFRN/RN.** XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - A energia que move a produção: um diálogo sobre integração, projeto e sustentabilidade. Foz do Iguaçu. 2007.

FIESP. **Conservação e Reúso de Água - Manual de Orientações para o Setor Industrial.** São Paulo, p. 90. 2004.

FILHO, J. N.; SÁ, V. A. D. L. E.; SIMÕES, A. L. Instituto Agrônomo de Pernambuco. **Irrigação**, 20 set. 2014. Disponível em: <<http://www.ipa.br/resp28.php>>.

GALHARTE, C. A.; CRESTANA, S. Avaliação do impacto ambiental da integração lavoura-pecuária: Aspecto conservação ambiental no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, Novembro 2010.

HOWARTH, D.; BUTLER, S. Communicating water conservation: how can the public be engaged? **Water Science & Technology: Water Supply**, v. 4, 2004.

IBGE. Censo Agropecuário 2006: Brasil, grande regiões e unidades da federação. 2006.

IBGE. **Contas Nacionais número 23: Matriz de Insumo-Produto 2000/2005.** IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro. 2008.

IBGE. Pesquisa Agrícola Municipal - PAM/IBGE, 2014. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/calendario.php>>.

IBGE/SIDRA. Banco de dados agregados. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**, 14 jul. 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/default.asp?z=t&o=1&i=P>>.

IRRIGART. **Bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí: situação dos recursos hídricos 2004/2005.** Irrigart- Consultoria e Engenharia em Recursos Hídricos. Piracicaba. 2007.

LEROY MERLIN. **Leroy Merlin**, 2014. Disponível em: <<http://www.leroymerlin.com.br/>>. Acesso em: Agosto 2014.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O Uso da Irrigação no Brasil**, 18 setembro 2014. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/irrigacao_000fl7vsa7f02wyiv80ispcrr5frx-oq4.pdf>. Acesso em: 2014.

LIMA, R. P.; MACHADO, T. G. **Aproveitamento de água Pluvial: análise do custo de implantação do sistema em edificações**. Centro Universitário da Fundação Educacional de Barretos. Barretos. 2008.

MAPA. Ministério da Agricultura, 2014. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/politica-agricola/zoneamento-agricola>>. Acesso em: Outubro 2014.

MARTINS, S. **DIRETRIZES PARA UMA ECONOMIA VERDE NO BRASIL II - AGRONEGÓCIO E AGRICULTURA FAMILIAR**. Rio de Janeiro. 2013.

MAY, S. **Caracterização, Tratamento e Reúso de Águas Cinzas e Aproveitamento de Águas Pluviais em Edificações**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 223. 2009.

MEDEIROS, P. C.; RIBEIRO, M. M. R. **Elasticidade-preço da demanda por água na bacia hidrográfica do rio Paraíba**. VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2012.

MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. D. **Irrigação**. Rio de Janeiro. 2009.

MENDONÇA, J. C. et al. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, junho 2007. 471-475.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. Plano Plurianual 2012-2015. **Programa 2013 - Agricultura Irrigada.**, 2013. Disponível em: <http://www.integracao.gov.br/c/document_library/get_file?uuid=e1c70db2-f7c4-40f9-b8aa-33fadec76a1f&groupId=10157>. Acesso em: 5 novembro 2014.

MOTTA, R. S.; RUITENBEEK, J.; HUBER, R. **Uso de instrumentos econômicos na gestão ambiental da América Latina e Caribe: lições e recomendações**. IPEA. Rio de Janeiro. 1996.

NETO, M. R. M. S. F. Determinação da evapotranspiração de dois cultivares de café arábica na fase de maturação dos frutos. **II Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil**, 20 set. 2014. Disponível em: <<http://www.sapc.embrapa.br/antigo/index.php/view-details/ii-simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil/316-determinacao-da-evapotranspiracao-de-dois-cultivares-de-cafe-arabica-na-fase-de-maturacao-dos-frutos>>.

OLMSTEAD, S. M.; HANEMMAN, W. M.; STAVINS, R. N. Does price structure matter? Household water demand under increasing-block and uniform prices. **School of Forestry and Environmental Studies Yale University**, 2003.

PATINO, M. T. O.; PASCHOALETTO, C. S.; ALCÂNTRA, M. R. Comparação dos custos de produção com e sem irrigação nas principais culturas agrícolas do estado de São Paulo. **XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2014**, 30 setembro 2014. Disponível em: <<http://www.sbea.org.br/conbea/2014/anais/R0241-1.pdf>>.

PIRES, R. C. M. et al. **AGROMETEOROLOGIA COMO SUPORTE AO MANEJO DE RECURSOS HÍDRICOS E PRESERVAÇÃO DE MANANCIAIS - MÉTODOS E MANEJO DA IRRIGAÇÃO**. Campinas. 1999.

PRADO, M.; LOPES, V. Campanha pública educativa: teoria e técnicas publicitárias. **Universidade de Arquitetura e Comunicação Social**, Brasília, Julho-dezembro 2011. 57-79.

PROCEL. **Conservação de energia: eficiência energética de equipamentos e instalações**. Eletrobrás, Unifei, Fupai. Itajubá. 2006.

PROJECTUS. **Estudos Hidrológicos Vazões Médias Mensais**. Petrobras. p. 12. 2013.

PROJECTUS. **Orçamento Preliminar - Barragem Duas Pontes Camanucaia**. Petrobras. p. 3. 2013.

PROJECTUS. **Orçamento Preliminar - Barragem Pedreira Rio Jaguari**. Petrobras. p. 3. 2013.

REZENDE, R. et al. Viabilidade econômica da irrigação complementar na cultura de citros na região noroeste do Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**, p. 591-598, 1999.

SABESP. **Guardião das Águas**, 2014. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/Pages/GuardiaoAguas.aspx>>. Acesso em: 31 Agosto 2014.

SABESP. **Sistema Cantareira - Plano de Contingência II- Ações Contingenciais e Resultados**. Sabesp. São Paulo. 2014.

SALASSIER, B. Manejo da Irrigação na Cana- de- açúcar. **Embrapa**, 20 set. 2014. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Cana_irrigada_producao_000fizvd3t102wyiv802hvm3jlwle6b8.pdf>.

SELLA, M. B. **Reúso de Águas Cinzas: Avaliação da Viabilidade da Implantação do Sistema em Residências**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 87. 2011.

SEMPRESUSTENTAVEL. **SempreSustentavel**, 2014. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/>>. Acesso em: Agosto 2014.

SLOTO, R. A. Effects of land-use changes and groundwater withdrawals on stream base flow, Pocono creek watershed, Monroe County, Pennsylvania. **Scientific investigation report number:2008-5030**, Washington, DC, p. 50, 2008.

SMITH, A. **A riqueza das nações**. 1a. ed. 1776.

SOUZA, A. P.; LIMA, M. E.; CARVALHO, D. F. Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza, usando lisímetros de pesagem. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 7, 2012.

STUDART, T. & C. N. **Gestão de Águas: Princípios e Práticas**. Porto Alegre. 2001.

SYME, G. J.; NANCARROW, B. E.; SELIGMAN, C. The evaluation of information campaigns to promote voluntary household water conservation. **Evaluation Review**, v. 24, Dezembro 2000.

VALENTE, O. F.; GOMES, M. A. **Conservação de nascentes**: Produção de água em pequenas bacias hidrográficas. 2 º. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2011.