

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA**

Bruna Stein Ciasca

**O IMPACTO ECONÔMICO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA
FINANCIAMENTO EM INFRAESTRUTURA VERDE: UMA PROPOSTA DE
INTEGRAÇÃO DA GOVERNANÇA DE ÁGUA E FLORESTA**

Belo Horizonte

2023

Bruna Stein Ciasca

**O IMPACTO ECONÔMICO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA
FINANCIAMENTO EM INFRAESTRUTURA VERDE: UMA PROPOSTA DE
INTEGRAÇÃO DA GOVERNANÇA DE ÁGUA E FLORESTA**

Tese apresentada ao curso de Doutorado do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Economia.

Orientadora: Profa. Dra. Aline Souza Magalhães
Coorientador: Prof. Dr. Édson Paulo Domingues

Belo Horizonte

2023

Ficha Catalográfica

C566i Ciasca, Bruna Stein.
2023 O impacto econômico da cobrança pelo uso da água para financiamento em infraestrutura verde [manuscrito]: uma proposta de integração da governança de água e floresta / Bruna Stein Ciasca. – 2023.
1 v., il.

Orientadora: Aline Souza Magalhães.

Coorientador: Édson Paulo Domingues.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional.

Inclui bibliografia.

1. Água - Uso - Teses. 2. Bacias hidrográficas - Teses. 3. Economia – Teses. I. Magalhães, Aline Souza. II. Domingues, Edson P. - (Edson Paulo). III. Universidade Federal de Minas Gerais. Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional. IV. Título.

CDD: 363.7



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS
CENTRO DE DESENVOLVIMENTO E PLANEJAMENTO REGIONAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

BRUNA STEIN CIASCA

O IMPACTO ECONÔMICO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA FINANCIAMENTO EM
INFRAESTRUTURA VERDE: UMA PROPOSTA DE INTEGRAÇÃO DA GOVERNANÇA DE ÁGUA E
FLORESTA

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal de Minas Gerais para obtenção do Título de Doutora em Economia, área de concentração em Economia Aplicada.

Aprovada em Belo Horizonte, 28 de fevereiro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Édson Paulo Domingues (Orientador) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Profa. Aline Souza Magalhães (Coorientadora) (Cedeplar/FACE/UFMG)

Prof. Ricardo Machado Ruiz (Cedeplar/FACE/UFMG)

Profa. Flaviane Souza Santiago (UFJF) - participação por videoconferência

Profa. Jaqueline Coelho Visentin (UFPR) - participação por videoconferência

Profa. Kênia Barreiro de Souza (UFPR) - participação por videoconferência

RAFAEL SAULO MARQUES RIBEIRO
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia



Documento assinado eletronicamente por **Edson Paulo Domingues, Professor do Magistério**



Superior, em 01/03/2023, às 14:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jaqueline Coelho Visentin, Usuária Externa**, em 01/03/2023, às 14:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Kênia Barreiro de Souza, Usuária Externa**, em 01/03/2023, às 15:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Flaviane Souza Santiago, Usuário Externo**, em 01/03/2023, às 16:21, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Aline Souza Magalhaes, Professora do Magistério Superior**, em 06/03/2023, às 11:32, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Machado Ruiz, Professor do Magistério Superior**, em 07/03/2023, às 17:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Saulo Marques Ribeiro, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 08/03/2023, às 08:44, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2111183** e o código CRC **EB1268DC**.

AGRADECIMENTOS

Diante da urgência da pauta socioambiental, a escolha de fazer doutorado na temática da economia dos recursos hídricos, surge da percepção que as instituições ainda não atribuem a devida importância à governança compartilhada das águas e à busca pela resiliência e segurança hídrica para a sociedade. Ainda que a implementação da Lei das Águas tenha avançado nas últimas décadas, uma grande parte das bacias hidrográficas do país ainda carece de instrumentos de gestão e do envolvimento dos setores econômicos e da sociedade civil nas instâncias de governança. Embora possa parecer um recurso abundante, cujo ciclo se repete e refaz, se os ecossistemas terrestres e aquáticos forem degradados e superexplorados, a água tenderá a ser finita. Tendência essa que, também, decorre dos efeitos potencializados por eventos extremos decorrentes da mudança climática.

Como um rio de fluxo livre, marcado por sua sinuosidade e incessante correr, o desenvolvimento dessa tese contou com muitas pessoas que devo agradecimentos.

Agradeço ao Dr. José Alexandre Mota com quem primeiro trabalhei na temática da governança das águas e que, através de todo envolvimento e muitos debates acerca do tema, deu origem à problemática central dessa tese, sua nascente. Agradeço aos amigos que me inspiram e que estiveram presentes em muitos debates profundos e calorosos, Marina, Juliana, Jaqueline, Julio, Michel e José Sena.

No curso do leito, agradeço ao Programa de Pós-Graduação de Economia da UFMG, aos meus orientadores professores Aline Magalhães e Edson Domingues pela confiança, parceria e pelo conhecimento compartilhado ao longo do desenvolvimento da tese. Também agradeço aos professores Roberto Luis Monte-Mór e Hugo da Gama Cerqueira por seus ensinamentos em seus campos de conhecimento que muito ampliaram meu horizonte. Aos amigos, Bruno, Gêssica, Tatiana, Guilherme, Rodrigo, Jonas e Wesley, pelas conversas sempre agregadoras e inspiradoras.

Dos afluentes, um profundo agradecimento a Leonardo e Eileen que muito ajudaram em etapas cruciais da tese e aos amigos de toda vida que me trazem alegria, leveza e que expandem a alma com arte, Paulinha, Sofia, Cathy, Marisa, Andressa.

E na foz, onde tudo deságua, agradeço a minha mãe Gina e meu pai Claudio, por me ensinarem o amor às coisas simples e grandiosas da vida, a busca pela liberdade e o respeito à diversidade, a quem devo o melhor de mim. À minha irmã Erica pelo amor e por me ensinar a força.

Com alegria e alguma esperança, dedico essa tese às crianças que representam a atual e futura geração, Manuela, Thomas, Dora, Charlotte, Clara, Pedro, Luana e Arthur.

*[...] Os rios que eu encontro
vão seguindo comigo.
Rios são de água pouca,
em que a água sempre está por um fio.
Cortados no verão
que faz secar todos os rios.
Rios todos com nome
e que abraço como a amigos.
Uns com nome de gente,
outros com nome de bicho,
uns com nome de santo,
muitos só com apelido.
Mas todos como a gente
que por aqui tenho visto:
a gente cuja vida
se interrompe quando os rios [...]*

O Rio, João Cabral de Melo Neto

*Por entre avenca, feto e taquara poca
No seio-limo da mata ciliar
Corre arregalada a matéria-prima essencial
O vero olho da terra é o cristal d'água [...]*

Olho d'Água, Waly Salomão

RESUMO

A disponibilidade hídrica em qualidade e quantidade nas bacias hidrográficas resulta de complexas funções ecológicas, reconhecidas como serviços ecossistêmicos de regulação climática e hidrológica. Determinante na organização social e econômica, a água é utilizada como fator primário no processo produtivo da grande maioria dos produtos. No Brasil, a demanda pelo uso da água concentra-se em mais de 75% no setor agropecuário, determinada pela demanda global de commodities agropecuárias, que por sua vez, caracteriza-se pela exportação de água embutida nos produtos que interfere no balanço hídrico local. Embora o Brasil seja dotado de grandes reservas superficial e subterrânea de água, diversas regiões têm enfrentado secas e estiagens, afetando o abastecimento humano e as atividades econômicas. Dois principais fatores interferem diretamente no balanço hídrico local, a degradação das bacias hidrográficas através da supressão de vegetação nativa que afeta a disponibilidade hídrica e o aumento da demanda pelo uso da água que intensifica a captação direta de água bruta. À luz da relevância dos serviços ecossistêmicos na regulação do fluxo hidrológico prestados pela vegetação nativa, a presente tese parte da premissa da importância da infraestrutura natural, dita *verde*, para segurança hídrica e sugere a integração dos instrumentos de governança de água e floresta como aspecto central. Trata-se em particular do cumprimento das Áreas de Preservação Permanente (APP) estabelecidas pela Lei de Proteção da Vegetação Nativa (LPVN) e da cobrança pelo uso da água determinada pela Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) como forma de atribuir o valor econômico à água e possibilitar a internalização do custo da gestão das bacias hidrográficas. Para sugerir tal integração, essa tese se desenvolve duas etapas analíticas. A primeira etapa, apresenta uma priorização de municípios para restauração da vegetação nativa em APP, em decorrência da presença de bacias hidrográficas em estado de restrição hídrica e elevada demanda de água pelo setor agropecuário, resultando na identificação da relevância da aplicação do instrumento da cobrança pelo uso da água para financiamento dos custos de restauração. A segunda etapa desenvolve um modelo de Equilíbrio Geral Computável nacional, de dinâmica recursiva, para 86 setores, com a inclusão da água como fator primário de produção. O modelo, denominado *Cobrança para Conservação das Águas e Bacias Hidrográficas - ConÁgua*, projeta os impactos econômicos decorrentes de uma política de aumento de precificação sobre o setor agropecuário para obtenção de recurso para investimento em infraestrutura verde. Os resultados indicam pequenos ajustes estruturais com queda do PIB e da produção setorial, comparativamente ao incremento da arrecadação potencial. Os setores mais afetados seriam o agrícola, em maiores proporções na produção de café, arroz, trigo e outros cereais, assim como a indústria de alimentos e de insumos para o setor agrícola, como a produção de adubos, fertilizantes e defensivos agrícolas. As exportações de produtos agrícolas também seriam afetadas em baixa proporção. Ainda que ocorra pequenos ajustes estruturais, haveria uma redução do consumo de água e um aumento significativo na arrecadação, o que favoreceria a internalização do valor econômico da água pelo setor agropecuário, garantindo mais investimento em infraestrutura verde e uma maior segurança hídrica nas bacias hidrográficas para a sociedade.

Palavras-chave: cobrança pelo uso da água; infraestrutura verde; área de preservação permanente; segurança hídrica; equilíbrio geral computável

ABSTRACT

Water availability in quality and quantity in watersheds results from complex ecological functions, known as ecosystem services of climate and hydrological regulation. Crucial for social and economic organization, water is consumed as primary factor, directly or indirectly, in the production process of most products. In Brazil, the demand for water use is concentrated in more than 75% in the agricultural sector, determined by the global demand for agricultural commodities, which, in turn, is characterized by the export of embodied water in the products, which interferes in local water balance. Although Brazil is largely endowed with surface and groundwater availability, several regions is increasingly facing droughts events, affecting human and economic activities water supply. Two main factors directly interfere in the local water balance, forest conversion and the degradation of watersheds, which affects water availability, and the increased demand for water use, which intensifies the water withdrawal. Considering the relevance of ecosystem services in regulating the hydrological flow, this thesis is based on the hypothesis of the importance of green infrastructure and suggests the integration of water and forest governance instruments to guarantee water security. Both instruments considered are, the compliance with the Permanent Preservation Areas (APP) established by the Protection of Native Vegetation Law (LPVN) and the water charge determined by the National Water Resources Policy (PNRH) which attribute economic value to water, incentives rational use and enable the internalization of the cost of watersheds management. Due to the lack of native vegetation in APPs in municipalities with water restrictions and the insufficient application of water charge, the integration of these instruments is suggested. To this end, this thesis develops a national and recursive dynamic Computable General Equilibrium model for 86 sectors, with the inclusion of water as a primary factor and its respective cost. The model, called *Charge for Water and Watershed Conservation - ConAgua*, simulate the economic impacts resulting from a policy of increasing water charges on the agricultural sector to obtain resources for investment in green infrastructure. The results indicate small structural adjustments with a decline in GDP and sectoral production, compared to the increase in potential revenue. The most affected production would be on agricultural products, in greater proportions in the production of coffee, rice, wheat and other cereals, as well as on the food industry and transformation industry, such as the production of fertilizers, fertilizers and agricultural defensives. Exports of agricultural products would also be affected. Even if small adjustments occur, there would be a significant reduction in water consumption and an increase in water charge revenue, which would contribute to more investment in green infrastructure in watersheds and greater water security.

Keywords: water charge; green infrastructure; permanent preservation area; water security; computable general equilibrium

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Número de dias por fase do cultivo de culturas temporárias para aplicação dos coeficientes técnicos	37
Tabela 2: Custo total de plantio de mudas por bioma (R\$/hectare)	45
Tabela 3: Metragens de restauração ou regeneração para regularização de APP consolidadas	51
Tabela 4: Atribuições dos entes do SINGREH relacionadas à cobrança pelo uso da água ..	57
Tabela 5: Preços unitários de cobrança pelo uso da água de domínio da União, em 2023..	65
Tabela 6: Análise comparativa internacional dos preços da água	70
Tabela 7: Área colhida em hectare e participação na área total colhida nacional dos principais produtos agrícolas, em 2015 e 2021.	77
Tabela 8: Setores do modelo ConAgua	93
Tabela 9: Principais conjuntos do Modelo ConAgua.....	101
Tabela 10: Custo do fator terra e custo do fator água em R\$ milhão e distribuição setorial (%), em 2015	104
Tabela 11: Características das classes de renda no Brasil segundo a POF 2017 – 2018....	105
Tabela 12: Participação dos bens no consumo das famílias, em 2015.	106
Tabela 13: Volume do consumo de água setorial e distribuição do uso da água do modelo ConAgua, em hm ³ e percentual, em 2015.	107
Tabela 14: Análise comparativa dos dados de uso da água do modelo ConAgua e outras bases de dados	110
Tabela 15: Preço relativo da água em relação ao valor de produção, valor adicionado e renda da terra, em 2015	111
Tabela 16: Principais variáveis do cenário macroeconômico de linha de base (var. % real)	114
Tabela 17: Arrecadação observada e custo implícito da água em 2015 (R\$/m ³).....	115
Tabela 18: Preço Público Unitário médio pelo uso da água nas Bacias Hidrográficas Federais (R\$/m ³)	116
Tabela 19: Parâmetros de elasticidades no modelo ConAgua.....	120
Tabela 20: Hipóteses de variáveis exógenas no fechamento do modelo.....	122
Tabela 21: Desvio percentual acumulado dos agregados macroeconômicos do Cenário ConAgua 1, de 2022 a 2050, por nível de elasticidade água-terra, em relação ao Cenário Base	125
Tabela 22: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 dos agregados macroeconômicos do Cenário ConAgua 1 e ConAgua 2, em relação ao Cenário Base	138

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Área de passivo florestal em Área de Preservação Permanente em imóveis rurais pequenos, médios e grandes, por estado e região, em hectare.....	49
---	----

Gráfico 2: Área de passivo florestal em Área de Preservação Permanente em imóveis rurais pequenos, médios e grandes, por bioma, em hectare	50
Gráfico 3: Evolução da arrecadação da cobrança nas bacias interestaduais estaduais entre 1996 e 2021 (R\$.1000,00)	66
Gráfico 4: Evolução da arrecadação da cobrança nas bacias estaduais entre 1996 e 2021 (R\$.1000,00).....	67
Gráfico 5: Evolução da arrecadação da cobrança nas bacias interestaduais entre 1996 e 2021 (R\$.1000,00).....	68
Gráfico 6: Distribuição setorial do consumo de água e do valor arrecadado da cobrança pelo uso da água, por usuário, em 2015 e 2021.	69
Gráfico 7: Volume total de água para fins de irrigação da Soja, Milho e Algodão, com destino de demanda interna e exportação, dos principais municípios produtores, em hm ³ , ano 2015.	78
Gráfico 8: Volume total de uso de água na produção de bovinos, com destino de demanda interna e exportação, dos principais municípios produtores, em hm ³ , em 2015.	82
Gráfico 9: Área de bacias hidrográficas com balanço hídrico em estado preocupante, crítico e muito crítico, por estado e região, em hectares.....	85
Gráfico 10: Área de passivo de vegetação em APP e percentual do município com restrição hídrica, considerando os municípios com elevada demanda de água por fins de irrigação de soja, milho e algodão.	87
Gráfico 11: Custo total e área de restauração para infraestrutura verde em APP por bioma, em R\$ Milhão e hectare.....	89
Gráfico 12: Custo total e área de restauração para infraestrutura verde em APP por estado, em R\$ Milhão e hectare.....	90
Gráfico 13: Preço Público Unitário médio pelo uso da água por setor usuário e bacias hidrográficas, R\$/m ³ , para o ano de 2015	116
Gráfico 14: Valor arrecadado observado e potencial com aplicação do Cenário ConAgua 1 (R\$ 1.000).....	118
Gráfico 15: Desvio percentual acumulado dos agregados macroeconômicos do Cenário ConAgua 1, de 2022 a 2050, por nível de elasticidade água-terra, em relação ao Cenário Base	126
Gráfico 16: Desvio percentual acumulado do volume de água e do preço relativo de água do Cenário ConAgua 1, de 2022 a 2050, em relação ao Cenário Base	128
Gráfico 17: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do Valor Adicionado do Cenário ConAgua 1 por atividade setorial, em relação ao Cenário Base	129
Gráfico 18: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do uso de água pela agricultura e pecuária do Cenário ConAgua 1, em relação ao Cenário Base	130
Gráfico 19: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do uso de água da indústria de mineração, indústria de alimentos e da indústria de transformação no Cenário ConAgua 1, em relação ao Cenário Base	131
Gráfico 20: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do valor adicionado por atividade setorial, do Cenário ConAgua 1, em relação ao Cenário Base.....	132

Gráfico 21: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do valor adicionado por atividade da indústria de alimentos, bebidas, papel e celulose, do Cenário ConAgua 1, em relação ao Cenário Base.....	133
Gráfico 22: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do consumo de água da atividade setorial do Cenário ConAgua 1, em relação ao Cenário Base.....	134
Gráfico 23: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do consumo das famílias por faixa de renda do Cenário ConAgua 1, em relação ao Cenário Base.....	135
Gráfico 24: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 em relação ao Cenário Base do consumo das Famílias por decil de faixa de renda, em relação ao consumo médio (%) ...	136
Gráfico 25: Desvio percentual acumulado dos agregados macroeconômicos no cenário ConAgua 2 e no cenário ConAgua 1, de 2022 a 2050, em relação ao Cenário Base (%)..	138
Gráfico 26: Desvio percentual acumulado do volume de água da agricultura e da pecuária no Cenário ConAgua 2, em relação ao Cenário Base (%).....	140
Gráfico 27: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do volume de água desagregada dos setores agrícolas no Cenário ConAgua 2, em relação ao Cenário Base (%)	141
Gráfico 28: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 da produção setorial agregado, no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%).....	142
Gráfico 29: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 da produção setorial desagregado para os setores agrícola e da pecuária, no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%)	143
Gráfico 30: Desvio percentual acumulada de 2022 a 2050 da produção setorial desagregado para o setor da indústria de alimentos, no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%)	144
Gráfico 31: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 da produção setorial desagregado para o setor da indústria de transformação, no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%)	144
Gráfico 32: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 nas exportações setoriais no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%).....	145
Gráfico 33: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 nas exportações de produtos da indústria de alimentos no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%)	146
Gráfico 34: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do consumo das famílias por faixa de renda do Cenário ConAgua 2, em relação ao Cenário Base (%).....	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Soluções de infraestrutura verde para gestão dos recursos hídricos	25
Figura 2: Passo-a-passo metodológico	35
Figura 3: Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos	54
Figura 4: Passos para implementação da Cobrança.....	58
Figura 5: Cobrança pelo uso da água nas Bacias Estaduais até o ano 2023	62
Figura 6: Cobrança pelo uso da água nas Bacias Interestaduais até o ano 2023	62
Figura 7: Estrutura hierárquica produtiva do modelo ConAgua	95

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1: Consumo de água na produção de soja irrigada com destino para consumo doméstico (m ³ /ano) em 2015	79
Mapa 2: Consumo de água na produção de soja irrigada com destino para exportação (m ³ /ano) em 2015	79
Mapa 3: Consumo de água na produção de milho irrigado com destino para consumo doméstico (m ³ /ano) em 2015.....	80
Mapa 4: Consumo de água na produção de milho irrigado com destino para exportação (m ³ /ano) em 2015	80
Mapa 5: Consumo de água na produção de algodão irrigado com destino para consumo doméstico (m ³ /ano) em 2015.....	81
Mapa 6: Consumo de água na produção de algodão irrigado com destino para exportação (m ³ /ano) em 2015	81
Mapa 7: Consumo de água na produção de bovinos com destino para consumo doméstico (m ³ /ano) em 2015	82
Mapa 8: Consumo de água na produção de bovinos com destino para exportação (m ³ /ano) em 2015	82
Mapa 9: Área total do município com criticidade hídrica (preocupante, crítico e muito crítico) (hectare).....	86
Mapa 10: Percentual da área do município com criticidade hídrica (preocupante, crítico e muito crítico) (%)	86
Mapa 11: Consumo de água do setor agropecuário nos municípios que concentram 90% em 2015 (m ³ /ano)	88
Mapa 12: Área de passivo de APP nos municípios em situação de restrição hídrica e que concentram 90% da demanda hídrica agropecuária (hectare)	88

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	17
1. REVISÃO DA LITERATURA	22
1.1. Da origem da escassez hídrica e a relevância da infraestrutura verde para segurança hídrica	22
1.2. Do comércio internacional e a exportação de água virtual	26
1.3. Modelo de equilíbrio geral computável aplicado aos recursos hídricos	29
2. METODOLOGIA	34
2.1. Passo-a-passo metodológico	34
2.2. Cálculo do uso da água setorial e da exportação de água direta embutida nas commodities agropecuárias	35
2.2.1. Agricultura.....	36
2.2.2. Pecuária	39
2.2.3. Indústria Extrativa	39
2.2.4. Indústria de Transformação	40
2.2.5. Geração de Energia.....	41
2.2.6. Abastecimento de Água e Tratamento de Esgoto.....	41
2.2.7. Cálculo do volume de água exportada direta nas commodities agropecuárias	41
2.3. Cálculo do investimento em infraestrutura verde	43
2.4. Priorização de municípios para investimento em infraestrutura verde	45
2.5. Modelo de equilíbrio geral computável	46
3. A FLORESTA COMO INFRAESTRUTURA VERDE: INSTRUMENTOS DA GOVERNANÇA DE ÁGUA E FLORESTA	47
3.1. As áreas de preservação permanente (APP): um ativo de infraestrutura verde a ser restaurado	47
3.2. Dos instrumentos de outorga e de cobrança pelo uso da água	52
3.2.1. Outorga pelo uso da água e condicionantes	55
3.2.2. Cobrança pelo uso da água: objetivos, estágio de implementação e componentes de cálculo.....	56
3.2.3. Preço médio aplicado da cobrança pelo uso da água e evolução da arrecadação no Brasil	65
3.3. Aspectos da integração da governança de água e floresta	71

4. A EXPORTAÇÃO DE ÁGUA EM COMMODITIES AGROPECUÁRIAS E A PRIORIZAÇÃO DE MUNICÍPIOS PARA INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA VERDE.....	74
4.1. Volume de água direta embutida na produção de commodities agropecuárias para exportação e demanda interna.....	76
4.2. Análise regionalizada da restrição hídrica e do passivo de vegetação em Área de Preservação Permanente: das desvantagens socioambientais	83
4.3. O custo da infraestrutura verde em municípios com restrição hídrica	88
5. MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL: COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA CONSERVAÇÃO DAS ÁGUAS E BACIAS HIDROGRÁFICAS.....	91
5.1. Especificação teórica do modelo	91
5.1.1. Uso de fatores primários e insumos intermediários na função de produção.....	95
5.1.2. Demanda das Famílias	98
5.1.3. Demanda por Exportações	98
5.1.4. Demanda por Investimento	99
5.1.5. Demanda do Governo e Estoques	99
5.1.6. Mercado de Trabalho	100
5.2. Construção da base de dados do Modelo ConAgua.....	100
5.2.1. Matriz de Absorção	100
5.2.2. Dados das famílias representativas	105
5.2.3. Investimento	106
5.2.4. Base de dados de uso da água	106
5.3. Indicadores do preço relativo da água.....	110
5.4. Definição dos choques de política de ampliação da cobrança pelo uso da água	113
5.4.1. Cenário base	113
5.4.2. Cenário de Política ConAgua 1: Ampliação da aplicação da cobrança para a integralidade dos usuários	114
5.4.3. Cenário de Política ConAgua 2: Aplicação da cobrança para custeio de investimento em infraestrutura hídrica em restauração de APP	118
5.5. Calibragem e parâmetros de elasticidade.....	119
5.6. Método de solução e fechamento do modelo	120
6. SIMULAÇÕES DO MODELO CONAGUA: UMA ANÁLISE DO IMPACTO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA CONSERVAÇÃO DAS ÁGUAS	123

6.1. Resultados da Política ConÁgua 1: Ampliação da aplicação da cobrança sobre a integralidade dos usuários	124
6.1.1. Impacto nos agregados macroeconômicos do Cenário ConÁgua 1	124
6.1.2. Impacto no uso da água do Cenário ConÁgua 1	127
6.1.3. Impacto setorial econômico do Cenário ConÁgua 1	128
6.1.4. Impacto no consumo das Famílias do Cenário ConÁgua 1	134
6.2. Resultados da Política ConÁgua 2: Aplicação da cobrança pelo uso da água sobre o setor agropecuário para investimento em infraestrutura verde	136
6.2.1. Impacto nos agregados macroeconômicos do Cenário ConÁgua 2	137
6.2.2. Impacto setorial no uso da água do Cenário ConÁgua 2	139
6.2.3. Impacto setorial econômico do Cenário ConÁgua 2.....	141
6.2.4. Impacto no consumo das Famílias do Cenário ConÁgua 2	146
7. CONCLUSÕES	148
REFERÊNCIAS	151

INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial cuja vida de todo organismo depende dela. Tales de Mileto, pensador pré-socrático, se referia à água como princípio de todas as coisas e ciclos, o que não difere ou destoa da premissa colocada pela ciência moderna que a condição para a existência da vida em outro planeta seja a presença desse mineral composto por hidrogênio e oxigênio, a água.

A despeito da compreensão da importância da água para a manutenção da vida pela ciência, a sociedade vem falhando na gestão desse recurso. O último Relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2022) aponta que, atualmente, aproximadamente metade da população mundial enfrenta graves situações de escassez hídrica durante pelo menos uma parte do ano devido a fatores climáticos e não climáticos. O relatório também aponta os impactos nos ecossistemas, nas pessoas, assentamentos e infraestrutura, que resultaram do aumento da frequência de eventos climáticos como ondas de calor na terra e no oceano, eventos de precipitação intensa, secas e incêndios. Já o relatório do Fórum Econômico Mundial sobre riscos à economia global, classifica, desde 2012, a crise de abastecimento de água entre os três principais riscos globais. Em sua última publicação as falhas de tomada de decisão relacionadas a extremos climáticos e hidrológicos foram classificadas entre os dez principais riscos (WEF., 2021).

O Brasil embora seja dotado de grandes reservas de água superficial e subterrânea, como a região Amazônica, que detém 80% da água superficial do país, e o aquífero Guarani que, no território nacional perfaz 70% da extensão total do aquífero, o relatório da Agência Nacional de Águas (ANA., 2018) aponta que problemas de escassez hídrica têm se tornado uma constante. Nos últimos anos, dos 5.570 municípios brasileiros, 51% (2.839) decretaram Situação de Emergência ou Estado de Calamidade Pública devido a secas ou estiagem pelo menos uma vez entre 2003 e 2017, sendo o ano de 2017 o mais crítico, em que, cerca de 38 milhões de pessoas foram afetadas no Brasil, notadamente nas regiões Nordeste e Sudeste. O conflito pelo uso da água associado ao desequilíbrio entre diferentes usos e aspectos de quantidade e qualidade da água, tem se agravado pela mudança climática, aliado ao aumento do desmatamento, à falta de investimentos em infraestrutura e proteção dos recursos hídricos e ao aumento contínuo das demandas (ANA., 2018).

Muitos fatores têm contribuído para a crise hídrica. Considerando que o balanço hídrico é igual à razão da demanda sobre a oferta hídrica, a restrição hídrica é engendrada por esses dois principais vetores. O primeiro vetor, relacionado à demanda hídrica, tem o crescimento da população e o aumento da demanda pelas atividades econômicas intensivas em água, como os principais fatores que contribuem para o aumento do estresse hídrico. A água total consumida no Brasil é majoritariamente utilizada para fins de irrigação e uso da pecuária, setores estes que concentraram, em 2019, 66,1% e 11,6%, respectivamente, do consumo total nacional. Em seguida, a indústria de transformação consumiu 9,7%, o setor de abastecimento humano urbano 9%, o abastecimento humano rural 2,4%, a mineração 0,9% e as termelétricas 0,3% (ANA., 2020). É fundamental destacar que a demanda hídrica pela agricultura é crescente em função da expansão de sistemas de irrigação por pivôs centrais utilizados para a produção de commodities agropecuárias, aumentando o fluxo de água embutida nos produtos exportados, denominado por Allan (1996), de *água virtual*. Tal tendência implica em crescente impacto do comércio internacional no balanço hídrico local.

O segundo vetor está diretamente relacionado ao contexto hidrológico local, e, especialmente, à conservação da cobertura vegetal das bacias hidrográficas. As florestas e as diferentes classes de vegetação nativa fornecem diversos serviços ecossistêmicos ao bem-estar humano, incluindo desde a provisão de frutos, alimentos, a serviços relacionados à regulação climática e do ciclo hidrológico, através da recarga hídrica, da proteção de nascentes, da redução do escoamento superficial e do controle de erosão, assim como, fornecem habitat para espécies da fauna e flora (COSTANZA et al., 1997, 2014, 2017; DAILY, G., 1997). Mudanças no uso da terra, de florestas para terras agrícolas e de terras agrícolas para áreas urbanas e industriais, assim como o inadequado planejamento territorial e ambiental, vêm resultando na degradação de bacias hidrográficas em todo mundo, impactando mananciais de abastecimento de água (DOBROVOLSKI; RATTIS, 2015; MCDONALD et al., 2016). Considerando a complexidade da relação entre florestas e chuvas, e a regulação climática na América do Sul, mitigar as secas requer esforços coordenados para deter o desmatamento e restaurar áreas desmatadas em diferentes regiões (GOTTFRIED; WEAR; LEE, 1996). Nesse sentido, a conservação e a restauração de bacias hidrográficas são fundamentais para tornar o abastecimento de água mais resiliente, cujas soluções baseadas na natureza (SbN) emergem como uma opção importante para políticas de

segurança hídrica (VÖRÖSMARTY et al., 2021). A luz do conceito de SbN, estão os investimentos em infraestrutura verde que se referem à conservação e restauração de ecossistemas que fornecem serviços de regulação hidrológica, e que complementam, aumentam ou substituem aqueles fornecidos pela infraestrutura cinza, a saber, as instalações físicas construídas (UNEP, 2014).

Diversos estudos vêm abordando a importância da integração entre infraestrutura verde e infraestrutura cinza para garantir a resiliência hídrica de bacias hidrográficas (ACOSTA, E. A. P. et al., 2023; CHO, S. J. et al., 2023; CIASCA et al., 2023; TEIXEIRA et al., 2021; TRÉMOLET S. ET AL., 2019; UNEP, 2014; VÖRÖSMARTY et al., 2021). Nesse contexto, a governança das águas vem crescentemente abarcando ações de revitalização das bacias hidrográficas através da proteção e a restauração da vegetação nativa como estratégias para garantir a segurança hídrica.

No Brasil, um dos principais esforços da gestão pública para assegurar uma alocação de oferta de água adequada em níveis satisfatórios qualitativos e quantitativos, está nas garantias impostas pela Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (Lei nº 9.433/1997), nomeada como Lei das Águas. Contudo, embora esta seja a política central que estabelece os instrumentos e as instâncias de governança dos recursos hídricos, estes não se restringem à PNRH. Outra importante norma que complementa os objetivos de proteção dos corpos hídricos e regulação dos fluxos hidrológicos, climáticos e do solo, consiste na Lei de Proteção da Vegetação Nativa – LPVN (Lei nº 12.651/2012) que institui as regras de preservação e conversão da vegetação nativa no território brasileiro. Em função da referida lei possuir determinações que garantem a proteção da vegetação para conservação dos corpos hídricos através das Áreas de Preservação Permanente (APP), e que não por acaso dá nome ao célebre documentário “A Lei da Água”, pressupõe-se a importância que a implementação desta seja amplamente observada e integrada aos objetivos da PNRH.

A luz das falhas na implementação da conservação da vegetação nativa em APP e da concentração da demanda de água pelo setor agropecuário, a problemática central dessa tese consiste em analisar como a integração dos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, previstos na PNRH e na LPVN, poderia contribuir para aprimorar a segurança hídrica. Para tal, analisa-se regionalmente as áreas de passivo de vegetação nativa nas APP em municípios

com restrição hídrica, e estima-se o impacto econômico da aplicação da cobrança pelo uso da água como mecanismo para atribuir um valor econômico aos recursos hídricos e garantir a arrecadação de recurso para investimento em infraestrutura verde, em particular, a restauração de passivo de vegetação nas APP. Pressupõe-se, portanto, a importância de que a governança das águas contemple objetivos de conservação das florestas e avalia-se como esta poderia integrar em seus objetivos o cumprimento da conservação das APP previsto na LPVN.

Vale esclarecer, de antemão, que a cobrança pelo uso da água é um instrumento econômico aplicado sobre a retirada de água bruta dos corpos hídricos (rios, lagos, reservatórios, aquíferos), utilizada como fator primário de produção dos setores usuários da água, como irrigação, saneamento, indústrias, mineração, dentre outros, e sobre o lançamento de efluentes. Diferentemente de um tributo, a cobrança consiste em um preço público aplicado como contrapartida pelo uso do bem comum água, uso este, que interfere na quantidade e qualidade das águas e cujo valor econômico deve refletir tanto a situação do balanço hídrico quanto os custos associados à gestão da bacia hidrográfica. Logo, a cobrança pelo uso da água não deve ser confundida com a tarifa do setor de saneamento aplicada sobre os serviços públicos prestados de abastecimento de água e tratamento de esgoto.

Embora tenha ocorrido avanços graduais na implementação do instrumento da cobrança em bacias hidrográficas estaduais e federais, ainda há uma baixa aplicação do instrumento em todo território nacional, em especial nas regiões onde localizam-se elevadas demandas hídricas pelo setor agropecuário exportador de commodities. Ademais, o preço aplicado sobre a retirada de água é considerado baixo, prejudicando a arrecadação para a execução dos Planos de Bacia Hidrográfica e suas ações de gestão dos recursos hídricos.

No contexto de insuficiência da aplicação da cobrança pelo uso da água, o objetivo dessa tese consiste em estimar o investimento priorizado em infraestrutura verde e analisar o impacto econômico da aplicação da cobrança sobre o setor agropecuário, de forma a viabilizar o investimento na restauração de APP em bacias com restrição hídrica. Para tal, desenvolveu-se um modelo de Equilíbrio Geral Computável (EGC) de dinâmica recursiva, denominado *Cobrança para Conservação das Águas e Bacias Hidrográficas* (ConAgua) que incorpora o uso da água como fator primário de produção e inclui a cobrança como

precificação do fator água. Tomando como base os custos de restauração das APP, elaborou-se cenários de simulação de política de precificação da água sobre o setor agropecuário. A partir de tais simulações, foi possível avaliar o impacto econômico nos agregados macroeconômicos, nos setores econômicos, na demanda das famílias, nas exportações, assim como na demanda pelo uso da água. Composta por seis capítulos, tais análises contribuem para atingir os objetivos desta tese na medida em que realiza uma priorização de municípios a receberem investimento em infraestrutura verde e dimensiona o impacto econômico de aplicação e aumento da cobrança sobre o setor agropecuário, apontando trajetórias de variação setorial e da demanda sobre o uso da água, que por sua vez, visam contribuir para a segurança hídrica.

O primeiro capítulo apresenta o estado da arte da literatura nos diferentes temas tratados nessa tese, isto é, a relevância da infraestrutura verde para segurança hídrica, o comércio internacional e a exportação de água virtual, e a aplicação de modelos de equilíbrio geral computável na temática da governança dos recursos hídricos. O segundo capítulo apresenta o passo-a-passo metodológico adotado e apresenta a construção da base de dados. O terceiro capítulo apresenta os instrumentos de governança de água e floresta e aponta interfaces de integração. O quarto capítulo apresenta os resultados do cálculo da água direta embutida nas commodities agropecuárias, a priorização de municípios com restrição hídrica e passivo de APP, e a estimativa do custo da restauração. O quinto capítulo descreve as premissas e os cenários realizados no modelo de EGC ConÁgua e, por fim, o sexto capítulo apresenta os resultados do impacto econômico estimado pelas simulações da política de aumento da cobrança pelo uso da água sobre o setor agropecuário.

1. REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo apresenta o estado da arte na literatura de três grandes temas. Primeiramente trata-se dos avanços teóricos e empíricos na descrição dos fatores que engendram eventos de escassez hídrica e da relevância da infraestrutura verde para segurança hídrica. O segundo tema trata da literatura acerca da exportação de água virtual embutida nas commodities agropecuárias e como o Brasil se insere nesse fluxo internacional. O terceiro tema aborda aplicações do modelo de equilíbrio geral computável para simulação do impacto econômico da precificação da água sobre o setor produtivo, visando viabilizar a governança das bacias hidrográficas.

1.1. Da origem da escassez hídrica e a relevância da infraestrutura verde para segurança hídrica

A segurança hídrica é representada pela disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às necessidades humanas, à prática das atividades econômicas e à conservação dos ecossistemas aquáticos, acompanhada de um nível aceitável de risco relacionado a secas e cheias, devendo ser consideradas quatro dimensões do planejamento da oferta e do uso da água (ANA., 2019a; 2022). Dentre as dimensões estão: i) Humana, a partir da garantia do acesso à água adequada às necessidades básicas e ao bem-estar da população; ii) Ecológica, com a preservação de ecossistemas e da água em benefício da natureza e das pessoas; iii) Resiliência a eventos extremos, como secas e inundações, e; iv) Econômica, a partir da garantia de suprimento de água para atividades produtivas e usos múltiplos. A escassez de água, portanto, pode ser definida como uma situação presente ou potencial na qual não há disponibilidade de água suficiente para todos os usos, seja por restrição quantitativa ou qualitativa nos mananciais, em determinado sistema hídrico e período de tempo, afetando as dimensões acima mencionadas.

HOMER-DIXON (1994, 2000) discute os fatores determinantes da escassez de água, sendo que a interação de dois principais elementos resulta numa terceira classe de escassez. O primeiro é a degradação dos corpos hídricos em quantidade e/ou qualidade, como por exemplo, o desmatamento que afeta os ciclos hidrológicos e desestabiliza os solos, levando assim à escassez induzida pela oferta. O segundo elemento da escassez corresponde aos

efeitos antrópicos da demanda humana e pelas atividades econômicas e o consumo, causando a escassez induzida pela demanda. Quando os dois primeiros tipos de escassez - induzida pela redução oferta e pelo aumento da demanda - se combinam, ocorre um terceiro tipo de escassez que resulta em *captura de recurso*, também denominado de escassez estrutural pois depende da relação entre o consumo e as diferenças na distribuição de renda dos usuários. Este último tipo de escassez é determinado pelo modelo de desenvolvimento socioeconômico e corresponde a um efeito social causado pela monopolização do acesso ao recurso por grupos da sociedade sujeitando outros atores sociais a uma situação de escassez. Segundo o autor, essas tipologias de escassez hídrica podem, portanto, ser fonte de conflito e provocar migração populacional. Além disso, uma situação de escassez hídrica induzida pela degradação dos ecossistemas e consequente redução da oferta de água, produz uma situação de marginalização ecológica devido às dificuldades de acesso ao recurso.

OHLSSON (2000a) propõe uma leitura conceitual de duas ordens de escassez hídrica. A primeira ordem apresenta o estado de disponibilidade do recurso em seu ambiente natural, bem ou mal dotado. Isto é, um recurso com escassez de primeira ordem pode ser qualificado como raro ou abundante e o grau de escassez permanece relativo a fatores de disponibilidade de recursos naturais intrínsecos ao país. Por outro lado, a escassez dita de segunda ordem é aquela que é produzida socialmente pela ausência de infraestrutura, equipamentos e instalações, para suprir a demanda e as consequências da escassez de primeira ordem. A escassez de segunda ordem é, portanto, consequência de falhas institucionais relacionadas à gestão das águas. O autor propõe assim que o conceito de escassez é relativo pois depende das necessidades e da capacidade da sociedade em criar soluções tecnológicas para enfrentamento das situações de escassez. Ademais, OHLSSON (2000b) aponta que a gestão inadequada dos recursos hídricos, tanto da oferta quanto da demanda, é um dos principais motivos pelos quais as restrições produtivas associadas às limitações no uso dos recursos hídricos podem originar conflitos pelo uso da água.

Em uma perspectiva da sociedade moderna, desde o desenvolvimento dos centros urbanos, os problemas de escassez decorrentes da indução da demanda foram superados através da implementação de projetos de engenharia civil para mobilização de novas fontes de água, seja através da implantação de redes de captação de água em longas distâncias ou

da construção de barragens em rios que viabilizam o represamento de grandes volumes de água e a criação de reservatórios. Contudo, como exposto por Milton Santos (SANTOS, 2002), tais alternativas tecnológicas impõem ao ambiente natural sistemas de infraestrutura física que constituem uma artificialização dos territórios socio-espaciais, descaracterizando seus elementos naturais e transformando a paisagem. Justamente por contrapor as funções hidrológicas da natureza, as construções físicas são hoje denominadas de *infraestrutura cinza*. Muito embora estas instalações não substituam as funções naturais do solo, dos relevos e do fluxo hidrológico, elas garantem o controle da disponibilidade da vazão dos rios através de seu armazenamento.

Como destaca TEIXEIRA et al., (2021), a avaliação da segurança hídrica é complexa e envolve vários estressores, como perturbação das bacias hidrográficas, poluição da água, demanda de água e gestão de recursos hídricos, em combinação com o estado dos ativos naturais (infraestrutura verde nas bacias hidrográficas, como a área florestal total, áreas úmidas e matas ciliares, por exemplo) e ativos físicos (infraestrutura cinza tradicional, como reservatórios artificiais e/ou estações de tratamento esgoto, por exemplo). Diante da necessidade de planejamento para segurança hídrica, uma nova engenharia que combine a engenharia tradicional cinza com a infraestrutura verde vem sendo recomendada como solução para a segurança hídrica no mundo e no Brasil (ACOSTA, E. A. P. et al., 2023; CHO, S. J. et al., 2023; CIASCA et al., 2023; TEIXEIRA et al., 2021; VÖRÖSMARTY et al., 2021).

De modo a garantir resiliência e perpetuidade das infraestruturas cinzas, a infraestrutura verde, natural ou ecológica, é a aplicação do conceito de Solução baseada na Natureza (SbN) visando fornecer opções de gestão dos recursos hídricos a partir do manejo de processos naturais direcionado a se obter benefícios na gestão do balanço hídrico. Portanto, a infraestrutura verde é a aplicação prática de uma SbN, propositalmente implantada, projetada ou manejada, com benefícios equivalentes ou similares à infraestrutura cinza (construída) para a água (ANA., 2022).

TRÉMOLET S. ET AL., (2019) apresentam uma variedade de soluções de infraestrutura verde que pode ser implantada para enfrentar quatro tipos de desafios hídricos como a busca por melhoria da qualidade da água superficial, da água subterrânea, a redução

de inundações e o enfrentamento à escassez hídrica. Tais soluções implicam em investimentos que poderiam potencialmente ser tratados como um ativo de capital natural relacionado à provisão de serviços de água. Dentre as soluções estão, por exemplo, o reflorestamento e a conservação da cobertura da vegetação nativa, a faixa marginal de proteção, a restauração e conservação de zonas úmidas. A Figura 1 apresenta as relações de complementaridade entre as soluções de infraestrutura verde e as relações com a infraestrutura cinza.

Figura 1: Soluções de infraestrutura verde para gestão dos recursos hídricos

Soluções de infraestrutura verde aplicadas à segurança hídrica	Desafios para segurança hídrica									
	Regulação da qualidade das águas superficiais				Regulação da qualidade das águas subterrâneas		Regulação da disponibilidade (incl. mitigação seca)			Cheias e enchentes
	Controle de nutrientes	Pesticidas	Outros poluentes químicos	Controle de erosão/Sedimentos	Nitrato	Pesticidas	Vazão de água superficial baixa	Nível de água subterrânea baixa	Seca	Parte superior da bacia
Reflorestamento e conservação da cobertura de vegetação nativa										
Proteção do uso da terra direcionada (inclui proteção da floresta)										
Faixa marginal de proteção										
Recarga de aquífero										
Reconectando rios a várzeas										
Técnicas de desvios de inundação										
Restauração e conservação de zonas úmidas										
Construção de zonas úmidas artificiais										
Lagoas e bacias										
Melhores Práticas de Manejo Florestal										
Melhoria de práticas agrícolas:										
Culturas de captura e culturas de cobertura										
Rotação de culturas										
Lavoura de conservação										
Redução do uso de fertilizantes										
Proteção vegetal alternativa										
	Estação de tratamento de água		Reforço de taludes	Estação de tratamento de água		Barragens, bombeamento de águas subterrâneas e sistemas de distribuição de água			Barragens e diques	
Infraestrutura cinza correspondente										

Fonte: Adaptado de TRÉMOLET S. ET AL. (2019); UNEP (2014)

POSTEL; THOMPSON (2005) apresentam dados sobre os benefícios em conservar e restaurar a bacia hidrográfica das montanhas Catskill que abastecem a cidade de Nova Iorque. Conforme apontam os autores, o investimento de restauração e proteção dos mananciais de US\$ 1,5 bilhão evitaria US\$ 4,5 a US\$ 6,5 bilhões em custos de soluções baseadas em engenharia civil como estação de tratamento de água.

Eventos extremos de seca podem resultar em altos custos econômicos que podem ser mitigados por investimentos em infraestrutura verde. CIASCA et al., (2023) realizam uma análise custo-benefício para estimar a viabilidade econômica de investimento em infraestrutura verde no Sistema Cantareira que abastece a Região Metropolitana de São Paulo. Para tal, os autores estimaram o custo econômico da crise hídrica ocorrida em 2014-2015 em R\$ 1,6 bilhão e avaliam que, se o investimento em restauração da vegetação nativa ocorresse no Sistema Cantareira, o custo da crise hídrica poderia ter sido evitado em 28%. Os resultados da análise de custo-benefício, que inclui tanto os benefícios do abastecimento de água, quanto do sequestro de carbono, apontam para um valor presente líquido positivo de R\$ 144 milhões a R\$ 632 milhões, respectivamente. Do ponto de vista econômico, a gestão combinada de sistemas de infraestruturas verde e cinza mostra-se uma alternativa custo-efetiva e indispensável para garantia da resiliência hídrica.

As soluções baseadas na natureza fundamentam-se, portanto, nos benefícios dos serviços ecossistêmicos que geram resultados positivos e desejados no manejo da água. As áreas de preservação permanente (APP) protegidas, são uma alternativa que prevê a preservação ou restauração da vegetação nativa para garantir a preservação dos recursos hídricos, do solo, da paisagem, da estabilidade geológica e da biodiversidade (ANA., 2022).

1.2. Do comércio internacional e a exportação de água virtual

Diversos autores apontam para a contribuição do comércio internacional na redução da pressão sobre os recursos hídricos em países com baixa disponibilidade hídrica, em particular com a importação de produtos intensivos em água, reduzindo assim a demanda interna de água. Se por um lado, o comércio internacional reduz a pressão sobre o uso da água para um grupo de países, por outro lado, os países exportadores sofrem um aumento de pressão sobre seus recursos. Nesse campo, diante do crescente comércio internacional de

produtos agropecuários, que por sua composição são intensivos em água, diversos autores realizam uma análise do fluxo de água virtual em termos globais e regionais.

O panorama da evolução dos fluxos de água virtual no mundo entre 1965 e 2010 realizado por DUARTE; PINILLA; SERRANO (2016) aponta que as Américas se destacam como o principal exportador de água virtual, e a Europa e a Ásia aparecem como dependentes de recursos hídricos estrangeiros, isto é, importadores líquidos de água virtual. Os autores apontam que os principais países exportadores de água virtual embutida em três dos cinco principais produtos agrícolas comercializados, isto é, algodão, soja e trigo, são os Estados Unidos, Brasil e Argentina.

ZHANG et al. (2016) analisam o fluxo de água virtual entre 2001 e 2013 na China e demonstram que o fluxo de importação de água virtual é muito superior ao volume exportado (155,55 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ importado contra 29,94 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ exportado) e que os produtos importados são majoritariamente agrícolas, a saber, soja, algodão e óleo de palma. A água importada pela China é proveniente majoritariamente dos Estados Unidos (35,5 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$), Brasil (32,1 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$) e Argentina (18,5 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$), e a exportação é destinada principalmente para a República da Coreia, Hong Kong e Japão.

BRINDHA (2017) avalia o comércio de água virtual da Índia entre 1986 e 2013 e aponta ser um país exportador líquido de água de 26,4 bilhões $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ (exportação média de água de 59 bilhões $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ e importação média de 32,6 bilhões $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$). Dez países concentram a exportação de água virtual para Índia, representando 77% do total de água virtual, sendo que o Brasil situa-se em 8º lugar com a exportação de 1 bilhão de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$, após os Estados Unidos.

A análise do fluxo de água virtual também pode ser realizada de forma a computar a economia de água dos países importadores de água. HOEKSTRA (2010) apresenta resultados para o período de 1997-2001 e aponta que o Japão é o maior importador líquido de água virtual, tendo economizado 94 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ de seus recursos hídricos domésticos, seguido do México que economizou 65 bilhões $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$, a Itália 59 bilhões $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$, a China 56 bilhões $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ e a Argélia 45 bilhões $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$.

HOEKSTRA; HUNG (2005) estimaram o volume de água utilizado na produção de 38 culturas agrícolas em diferentes países do mundo entre 1995 e 1999 e estimaram o fluxo de água virtual entre os países. Os resultados mostram que o Brasil ocupou a décima posição como exportador líquido de água virtual, com um saldo de 9 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ (exportação de 32 bilhões $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ e importação de 23 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$). CHAPAGAIN; HOEKSTRA (2003) analisaram o fluxo de água virtual do comércio internacional de produtos da pecuária e identificam que o gado de corte contribuiu com 69% em média dos fluxos entre 1995 e 1999. O Brasil foi o sétimo país entre os maiores exportadores líquidos de água virtual, com um saldo de 7 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ (exportou 12 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$ e importou 5 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$).

NIEMEYER; GARRIDO (2011) desenvolveram uma análise do fluxo de água virtual em commodities agropecuárias dos países da América Latina, destacando para os objetivos de segurança alimentar. Os resultados apontam que a Argentina e o Brasil constituem a cesta alimentar do mundo com a comercialização de milho e soja majoritariamente cultivados em condições de sequeiro (isto é, sem sistema de irrigação). O fato de os produtores agrícolas serem majoritariamente produzidos em sistema de sequeiro permite que a produção ocorra a um menor impacto sobre a disponibilidade hídrica. No entanto, o aumento da demanda e da produção de soja levou, em ambos os países, a uma expansão de terras agrícolas gerando perdas ambientais, por exemplo, associadas ao desmatamento no Cerrado onde há elevada disponibilidade hídrica e biodiversidade. Assim como apontado pelos autores, é fundamental que ocorra a discussão sobre como os impactos ambientais da expansão agrícola afetam os serviços ecossistêmicos e a disponibilidade hídrica.

DA SILVA et al. (2016) avaliaram o comércio internacional de água virtual de commodities agropecuárias dos estados brasileiros, bem como a dependência e a autossuficiência estimadas da escassez de água, no período de 1997 a 2012. Os principais resultados corroboram com os previstos na literatura já citada, em que o Brasil é um exportador líquido de água virtual de 54,8 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$, com uma exportação de 67,1 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$, contra uma importação de 12,3 bilhões de $\text{m}^3\text{ano}^{-1}$.

Em todos os estudos analisados de fluxo de água virtual, o Brasil está situado entre os dez maiores exportadores de água virtual do mundo, o que comprova sua vantagem

comparativa em termos de disponibilidade hídrica. Tais análises contribuem tanto para avaliar a importância em ajustar a balança comercial visando garantir a segurança alimentar e a redução da pressão sobre os recursos hídricos, como também para identificar as melhorias necessárias dos instrumentos de governança para gestão dos recursos hídricos. Há uma inter-relação direta entre a análise do fluxo de água virtual no comércio internacional e a importância de determinação da precificação da água, a nível local e global, a fim de corrigir as falhas de mercado existentes no uso da água e garantir que haja internalização dos custos socioambientais e econômicos nas bacias em que ocorrem restrição e escassez hídrica.

HOEKSTRA (2008) apresenta algumas propostas de arranjos institucionais para tratar a dimensão global do uso da água e aponta que a criação de um protocolo internacional de precificação da água a seu custo integral contribuiria para o uso sustentável dos recursos hídricos no mundo. O autor destaca a necessidade de se estabelecer um acordo global sobre uma estrutura de tarifação que comporte os custos totais do uso da água, incluindo custos de investimento, operação e manutenção, bem como o custo de oportunidade da escassez hídrica e das externalidades negativas pelo uso da água. A insuficiente e ineficiente precificação da água aplicada no setor agropecuário no Brasil contribui para obtenção das vantagens comparativas para o setor agropecuário, contudo, tais ganhos ocorrem em detrimento dos impactos socioambientais e do aumento da pressão sobre os recursos hídricos. Logo, uma política eficaz de cobrança pelo uso da água aplicada sobre o setor agropecuário é fundamental para garantir uma eficiente gestão dos recursos hídricos.

1.3. Modelo de equilíbrio geral computável aplicado aos recursos hídricos

Os modelos hidro-econômicos constituem um tipo de ferramenta de decisão que permite uma análise da complexa dinâmica econômica e ambiental dos sistemas de recursos hídricos (HAROU et al., 2009). Os principais componentes desses modelos são as representações matemáticas das relações hidrológicas e as relações de produção de diferentes setores consumidores de água, como por exemplo, agricultura, indústria, abastecimento humano e geração de energia. Tais modelos, podem ser categorizados em dois principais tipos (BEKCHANOV; SOOD; JEULAND, 2015): i) Modelos de bacias hidrográficas baseados em “nós” que incluem análise de simulação e otimização; ii) Modelos que abrangem toda economia e incluem os modelos de Matriz Insumo Produto (MIP) e Equilíbrio

Geral Computável (EGC). Conforme destacado pelos autores, os modelos baseados em simulação e otimização são calibrados para reproduzir cenários de mudanças na gestão do uso da água e seus impactos no comportamento dos agentes, ao passo que os modelos MIP e EGC permitem uma avaliação mais ampla do impacto do uso da água sobre o sistema econômico, possibilitando relacionar a dependência dos indicadores agregados macroeconômicos em relação aos fluxos de uso da água, e analisar em termos relativos os fatores determinantes da demanda pelo uso da água.

O modelo de MIP possibilita construir coeficientes técnicos diretos e indiretos de uso da água que proporcionam análises associadas à estrutura produtiva de cada atividade econômica e a demanda hídrica. Diversos autores desenvolveram modelos de insumo-produto para quantificar a captação direta e indireta de água por setor econômico e otimizar o cálculo da pegada hídrica (AVISO et al., 2018; CAZCARRO; DUARTE; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, 2013; DENG; MA; LI, 2016; LLOP, 2013; NASPOLINI et al., 2020; VISENTIN, 2017). Alguns dos objetivos desses estudos foram, a partir da integração de dados de fluxo de água e econômico, identificar a estratégia ótima de produção de atividades econômicas em uma região com menor impacto na disponibilidade hídrica, de modo a se identificar atividades menos intensivas em água.

Já os modelos EGC possibilitam analisar os efeitos econômicos de eventos de restrição hídrica, assim como de políticas previamente determinadas de mudanças na precificação do uso da água ou de disponibilidade hídrica. Diversos autores desenvolveram a aplicação de modelos EGC para análise da interdependência da economia com o uso da água, trazendo ênfase em análises dos impactos econômicos de eventos de escassez hídrica (GARCÍA-LEÓN; STANDARDI; STACCIONE, 2021; HORRIDGE; MADDEN; WITTWER, 2005; LIU et al., 2017), assim como análises dos efeitos do comércio de direito de uso da água e de mudanças na política de precificação da água (BERRITTELLA et al., 2007; CALZADILLA; REHDANZ; TOL, 2010; DIAO et al., 2008; FANG et al., 2016; LETSOALO et al., 2007; QIN et al., 2012). No Brasil, poucos estudos foram encontrados que incorporam o uso da água no modelo EGC (DE SOUZA, 2022; FERRARINI, 2018).

HORRIDGE; MADDEN; WITTWER, (2005) aplicaram no modelo regional TERM (*The Enormous Regional Model*) da Austrália choques regionais e simulações sobre os

efeitos de curto prazo da seca australiana de 2002-2003. Os resultados mostraram perdas de produção de até 20%, sendo que a produção agrícola teria sido reduzida pela seca em pouco menos de 30%. Embora a baixa participação da agricultura no PIB australiano, de 3,6%, a seca reduziu o crescimento do PIB em 1% em decorrência do setor agrícola e 0,6% devido a efeitos multiplicadores negativos intersetoriais, totalizando 1,6% de redução do crescimento do PIB.

GARCÍA-LEÓN; STANDARDI; STACCIONE, (2021) desenvolveram uma análise sobre o custo econômico potencial, direto e indireto, da escassez hídrica na Itália. Os autores acoplaram no EGC dados de estresse hídrico agrícola que possibilitaram imputar variações econômicas a partir de premissas de alterações nos rendimentos agrícolas das principais culturas italianas. Para tal, aplicou-se no modelo EGC choques de produtividade dependentes de culturas de modo regionalizado e calibrado especificamente para a economia italiana. Os danos totais estimados dos impactos diretos e indiretos variaram de EUR 0,55 a 1,75 bilhão, dependendo da severidade geral da seca. Embora a maior parte das perdas tenha se concentrado na agricultura, outros setores correlatos, como a indústria alimentícia e serviços atacadistas, também foram substancialmente afetados. Além disso, as simulações sugeriram a presença de um efeito de substituição do uso da terra de culturas menos resistentes à seca para culturas mais resistentes.

QIN et al., (2012) desenvolveram um modelo EGC com a inclusão do fator de produção água para avaliar o impacto de uma política de aumento da precificação da água na economia chinesa para fins de proteção dos recursos hídricos. Os autores aplicaram a simulação em três cenários: i) precificação apenas no setor agrícola; ii) precificação uniforme aplicada em todos os setores; iii) precificação diferenciada no setor agrícola e setores não agrícolas. Os resultados mostram que o setor da agricultura, por ser hidro intensivo, apresentou queda da produção superior a 2% nos três cenários, em decorrência do aumento dos custos de produção. Outros setores não agrícolas, porém, que dependem do consumo intermediário de produtos agrícolas, tais como indústria de alimentos, tabaco e têxteis e vestuário, também apresentaram queda de produção. Os resultados do estudo apontam que a implementação de cobrança da água pode redistribuir o uso setorial de água e levar a mudanças na produção, consumo, valor adicionado e padrões de comércio.

DIAO et al., (2008) realizaram um modelo EGC estendido para o Marrocos com a inclusão de recursos hídricos subterrâneos integrando demanda rural e urbana. Os autores avaliam as variações no valor da estabilização da vazão hídrica a partir de choques naturais e econômicos, associados à ocorrência de seca e à variação de transferência de água entre a demanda rural e urbana. Os autores analisaram os efeitos de um aumento no custo de captação de água subterrânea como resultado de transferência de água de fontes rurais para o urbano, e de uma redução da disponibilidade de água devido à seca. Os resultados do estudo apontam que os recursos hídricos subterrâneos desempenham um papel fundamental na mitigação dos efeitos da seca ou do aumento dos custos de uso da água, e que, portanto, exigem maior regulação, como por exemplo, através de uma transferência de renda entre os agentes da área urbana e rural em anos de baixa disponibilidade hídrica.

LETSOALO et al., (2007) utilizaram um modelo EGC a fim de avaliar alternativas aos problemas de escassez hídrica na África do Sul a partir da aplicação da cobrança pelo uso da água para a agricultura irrigada, mineração e silvicultura, para fins de orientar a redução do uso da água, garantir crescimento econômico e distribuição de renda. Os resultados indicam que a aplicação adequada da receita, particularmente na agricultura irrigada e na extração de carvão, contribuiria com uma redução no uso de água, maior crescimento econômico e redução da desigualdade.

FANG et al., (2016) avaliaram os impactos de políticas para redução da poluição da água e combate à escassez hídrica na província de Jiangsu na China a partir da aplicação do modelo de equilíbrio geral. Os autores simularam os efeitos setoriais de aplicação de taxas sobre o lançamento de efluente na economia regional em três cenários, a saber, aumento em 50%, 100% e 150%. Os resultados demonstram que, embora o aumento da taxa provoque uma redução do PIB, obtém-se maior controle dos efluentes a partir da modernização de estruturas industriais orientando a economia para redução do impacto sobre os recursos hídricos.

Desenvolvido para Austrália, o modelo EGC TERM-H2O (WITTEWER, 2012) inclui o uso da água como insumo produtivo dando ênfase na diferenciação do uso da água pela agricultura irrigada e não irrigada. O modelo foi proposto para a Bacia de Murray-Darling que possui como instrumento de gestão da escassez o mecanismo de mercado de compra do

direito de uso da água pelo governo, a fim de controlar o uso da água pelo setor agropecuário em períodos de estresse hídrico. A aplicação do modelo buscou compreender a realocação entre os fatores de produção e os efeitos diretos e indiretos em termos de renda e geração de emprego, decorrentes das medidas de recompra do direito de uso da água.

No Brasil, a aplicação de modelo EGC para análise das relações entre os diferentes usos da água e impactos econômicos é recente. FERRARINI, (2018) analisou o impacto da expansão da agricultura irrigada sobre o uso de água setorial. A autora aplicou matrizes de uso da água e desenvolveu um modelo EGC regional contemplando projeções de três cenários de expansão da área irrigada e considerando as estimativas do balanço hídrico climático. Os resultados mostram que as expansões de área irrigada no Norte e Centro-Oeste beneficiam preferencialmente as culturas da cana-de-açúcar, arroz e outros produtos da lavoura. O efeito mais notável sobre a demanda de água aconteceria na cultura da cana-de-açúcar com a expansão de 549 mil hectares, elevando a demanda de água em 2.940 hm³ (19%), e a segunda cultura de maior uso de água seria o arroz irrigado, com 1.808 hm³ (29%). Em termos regionais, a expansão da produção ocorre especialmente no Mato Grosso, elevando em 92,6% o uso de água no estado.

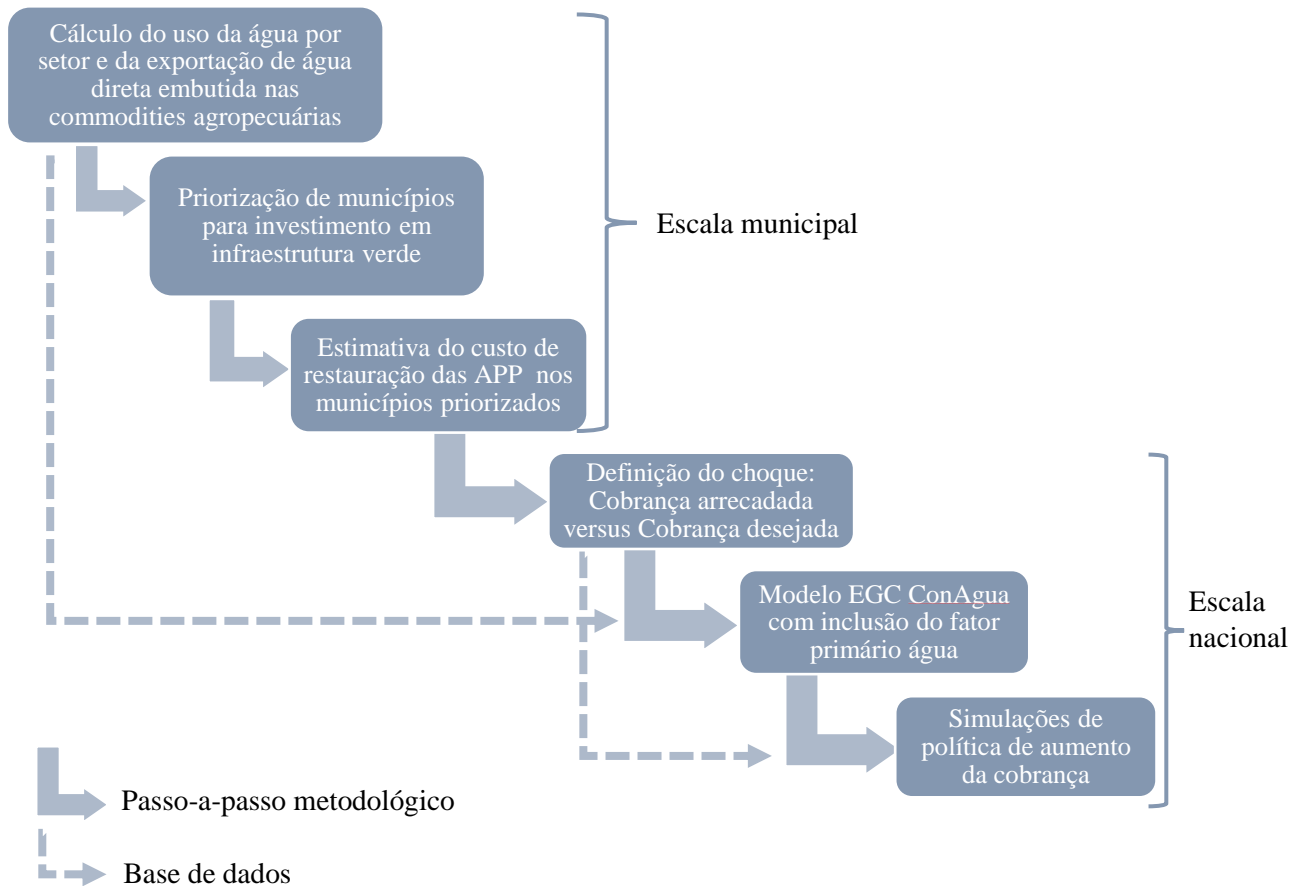
DE SOUZA, (2022) desenvolveu um modelo EGC com a incorporação do uso da água na região do Agreste/Leste Pernambucano que compõe o território das bacias dos rios Ipojuca, Capibaribe e Uma. O estudo considerou cenários de simulação de diferentes medidas de gestão dos recursos hídricos na área de estudo, dentre eles, o choque exógeno de restrição global do uso da água, tendo como pressuposto que os tomadores de decisão adotariam a estratégia de restrição da oferta de água visando a garantia do abastecimento futuro. Os resultados obtidos mostram que uma restrição global da disponibilidade de água sem uma medida auxiliar de gestão no Agreste/Leste pernambucano geraria perdas do PIB de 0,46%, de renda de 0,41% e de bem-estar social de 0,2%, tendo maiores efeitos sobre a população de baixa renda, residente nas áreas rurais.

2. METODOLOGIA

A presente seção descreve o passo-a-passo metodológico adotado e as bases de dados utilizadas para cálculo do uso de água por setor econômico, da exportação de água direta embutida e a identificação da priorização de municípios para investimento em infraestrutura verde.

2.1. Passo-a-passo metodológico

A metodologia é composta por seis principais etapas que se inserem em duas escalas territoriais, municipal e nacional, conforme apresentado na Figura 2. Considerando a variabilidade espacial, tanto climática quanto produtiva do uso da água pelo setor agropecuário, e das características de comprometimento das bacias hidrográficas, elaborou-se uma primeira análise a nível municipal para priorização do investimento em infraestrutura verde e estimativa dos custos de restauração. Ao obter o valor de investimento priorizado em infraestrutura verde, propôs-se os cenários de política de cobrança pelo uso da água sobre o setor agropecuário, etapa esta que subsidiou o modelo ConÁgua. Vale destacar que em função de limitações metodológicas de estimativas regionais de uso da água para todos os setores, por bacia, assim como para atribuição de premissas de aplicação da cobrança a nível regional, o modelo de EGC desenvolvido é de escala nacional. Desse modo, a análise inicial em escala municipal da estimativa de uso da água pelo setor agropecuário e de priorização do investimento em infraestrutura verde foi agregada e inserida no modelo nacional ConÁgua.

Figura 2: Passo-a-passo metodológico

2.2. Cálculo do uso da água setorial e da exportação de água direta embutida nas commodities agropecuárias

A ANA disponibiliza uma série de bases de dados de uso da água. Uma importante fonte consiste nos dados de retirada, consumo e lançamento de efluentes, por município, para o período de 1930 a 2030, modelados e projetados para os grandes setores de usuários, isto é, abastecimento humano urbano e rural, indústria da transformação, mineração, termelétrica, dessedentação animal e agricultura irrigada (ANA, 2019b). Contudo, tais dados são apresentados de forma agregada para os grandes usuários impossibilitando uma análise setorial mais abrangente. Para o setor agrícola, o maior nível de desagregação dos dados de retirada e consumo pode ser obtido apenas para *arroz*, *cana-de-açúcar* e *demais culturas* (ANA, 2015). Embora as bases de dados estejam em constante aprimoramento, ainda não há

disponíveis dados de volume de água por irrigação para os demais cultivos, como soja, milho, algodão, dentre outros. Nesse contexto, para suprir tal lacuna, foi realizada a aplicação de coeficientes técnicos determinados pela ANA. A presente seção apresenta os procedimentos específicos de aplicação dos coeficientes técnicos para estimativa setorial do uso da água e do volume embutido exportada em commodities agropecuárias por município.

2.2.1. Agricultura

A ANA vem realizando avanços consideráveis no desenvolvimento de metodologias de cálculo de demanda pelo uso da água pelos setores da economia. Para o panorama dos principais setores usuários da água, o estudo *Usos Consuntivos de Água no Brasil* (ANA, 2019b) disponibiliza os métodos de estimativa e os coeficientes técnicos de uso da água aplicados aos setores de abastecimento humano e animal, indústria de transformação, mineração, agricultura irrigada, termoeletricidade e evaporação líquida dos reservatórios, e apresenta séries históricas de uso da água (retirada, lançamento de efluentes e consumo) desses setores, contemplando o período de 1931 e projeções até 2030.

Para as estimativas de uso da água da agricultura irrigada, o *Atlas Irrigação - Uso da Água na Agricultura Irrigada* (ANA, 2021) apresenta estimativas da área irrigada atual e potencial com projeções para 2030 e 2040, assim como apresenta estimativas do uso da água para produção de *arroz inundado* e *cana-de-açúcar*, e, de forma agregada, para as *demais culturas* irrigadas por pivôs centrais e outros sistemas. Logo, uma limitação encontrada em relação a essa base de dados é a ausência de dado de consumo de água pela agricultura irrigada para cultivos de commodities agrícolas, como soja, milho, algodão e trigo.

Para suprir tal lacuna, o manual *Coefficientes Técnicos de Uso da Água para a Agricultura Irrigada* (ANA, 2019e) disponibiliza coeficientes técnicos, em unidade litro por segundo por hectare ($l s^{-1} ha^{-1}$), para 61 culturas, por município, relacionados à necessidade hídrica da planta, precipitação efetiva e déficit de consumo, por mês e fase de crescimento do cultivo. O coeficiente de déficit de consumo é definido como a parcela da necessidade hídrica da cultura não atendida pela precipitação efetiva, e, portanto, representa a necessidade de irrigação da cultura sem considerar as perdas do sistema de irrigação. Por sua vez, o

coeficiente de necessidade de irrigação é definido como o déficit de consumo acrescido das perdas.

Considerando a importância da participação das commodities agrícolas nas exportações nacionais, estimou-se o uso da água de irrigação para quatro culturas temporárias, a saber, *trigo, milho, algodão e soja*, e duas culturas permanentes, *laranja e café*. Os dados de irrigação de *arroz e cana-de-açúcar*, foram adotados a partir de ANA (2015). Uma vez que a aplicação da cobrança pelo uso da água ocorre sobre o volume de irrigação, não se incluiu nas estimativas o uso da água da agricultura de sequeiro.

Para aplicação dos coeficientes técnicos adotou-se três etapas metodológicas. Primeiramente, foi necessário definir o número de dias de desenvolvimento do cultivo, em cada fase de crescimento, das culturas temporárias. Para tal, adotou-se como premissa o número de dias por fase de cultivo proposto em FAO (2006), conforme especificado na Tabela 1.

Tabela 1: Número de dias por fase do cultivo de culturas temporárias para aplicação dos coeficientes técnicos

Produto	Número de dias por fase do cultivo				Total de dias
	I	II	III	IV	
Algodão herbáceo	30	50	55	45	180
Cana-de-açúcar	30	50	180	60	320
Soja em grão	20	25	75	30	150
Trigo em grão	20	25	60	30	135
Milho em grão	25	40	45	30	140
Arroz	30	30	80	40	180

Fonte: FAO, 2006.

Na segunda etapa da metodologia, foi definido o calendário de cultivo por município, isto é, o mês predominante que se inicia o plantio de cada cultivo nos municípios em função de condições climáticas favoráveis. Para tal, utilizou-se o calendário do Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC) (MAPA, 2021).

Na terceira etapa, foram aplicados critérios para definição da área irrigada por cultivo. Conforme ANA (2021), em que pese a diversidade de sistemas de irrigação, é possível extrair alguns padrões de larga escala entre métodos/sistemas e culturas, tais como: a forte correlação entre a inundação e o arroz; entre o gotejamento e o café e a fruticultura; entre a

aspersão com carretéis enroladores (*hidro roll*) e a cana-de-açúcar; e entre os pivôs centrais e a produção de algodão e de grãos, em especial feijão, milho e soja. Para definição da área irrigada por cultivo e município por sistema de pivô central, considerou-se a base de dados da área colhida por cultivo, por município, da Pesquisa Agrícola Municipal - PAM (IBGE) e da área irrigada por pivô central por município (ANA, 2021), adotando-se as seguintes premissas:

- i) A área potencial irrigada da cultura i no município n é igual à área do pivô central no município n , quando a área de pivô central no município n for inferior à área de cultivo da PAM da cultura i no município n ;
- ii) A área potencial irrigada da cultura i no município n é igual à área colhida da cultura i da PAM no município n quando a área de cultura da PAM for inferior à área de pivô central no município n ;

Em função do grande volume de dados, realizou-se uma programação no software R para aplicação dos coeficientes técnicos. O volume de água da agricultura irrigada por cultura e município foi obtido a partir da seguinte equação:

$$WTR_{i,n} \left(\frac{hm^3}{ano} \right) = \frac{\sum_{n,m} (Coef_{i,n} \times Area_{i,n} \times dias_{i,m} \times 60 \times 60 \times 24)}{1.000.000.000} \quad (1)$$

Onde:

$WTR_{i,n}$: Volume de água de irrigação utilizada na cultura i , no município n , em milhão de metros cúbicos (hm^3).

$Coef_{i,n,m}$: Coeficiente da cultura i , no município n , na fase m , em litros, por segundo, por hectare.

$dias_{i,m}$: Número de dias de crescimento da cultura i na fase m .

$Area_{i,n}$: Área colhida potencial irrigada por pivô central da cultura i , no município n .

Em função da importante variabilidade climática no território nacional, foi realizada a estimativa da irrigação por cultura, por município, e obtido o volume total de irrigação nacional a partir da soma do consumo por município, representando o volume total de irrigação por cultura utilizado no modelo ConAgua, conforme equação a seguir:

$$WTR_i \left(\frac{hm^3}{ano} \right) = \sum_n WTR_{i,n} \quad (2)$$

Onde:

WTR_i : Volume total de água de irrigação utilizada na cultura i , em milhão de metro cúbico.

2.2.2. Pecuária

Para os produtos da pecuária, aplicaram-se os coeficientes técnicos para rebanhos tais como *bovinos, vacas, suínos, bubalinos, equinos, ovino, caprino, galináceos, codornas*, definidos em *Coeficientes do Manual de Usos Consuntivos de Água* (ANA, 2019b) a partir dos dados da Pesquisa da Pecuária Municipal (PPM) (IBGE). Para tal, aplicou-se a seguinte equação:

$$WTR_{REB,i} \left(\frac{hm^3}{ano} \right) = \sum_i [Cof_{cons,i} \times \left[\frac{(REB_i \times Cof(REB,i) \times 365)}{1.000.000.000} \right]] \quad (3)$$

Onde:

$WTR_{REB,i}$: Consumo de água do rebanho i , em milhão de metro cúbico (hm^3).

$Cof_{cons,i}$: Coeficiente de consumo em percentual para o rebanho i .

$Cof_{REB,i}$: Coeficiente de retirada de água em litros por cabeça do rebanho i por dia.

REB_i : Número total de cabeças de rebanho i .

2.2.3. Indústria Extrativa

Para os produtos relacionados à indústria extrativa, foram aplicados os coeficientes técnicos para *carvão mineral, minério de ferro, minerais metálicos não-ferrosos* como minério de alumínio, estanho, manganês, metais preciosos e minerais metálicos não-ferrosos, e *minerais não metálicos*, disponibilizados em *Coeficientes do Manual de Usos Consuntivos de Água* (ANA, 2019) a partir dos dados de produção da Pesquisa Industrial Anual Produto (PIA-Produto) (IBGE). Aplicou-se a seguinte equação:

$$WTR_{ind.extrativa,i} = \sum_i [Cof_{consumo} \times \left[\frac{(EXT_i \times Cof(i))}{1.000.000} \right]] \quad (4)$$

Onde:

$WTR_{REB,i}$: Consumo de água do produto extrativo i , em milhão de metro cúbico (hm^3).

$Cof_{consumo}$: Coeficiente de consumo em percentual para o produto extrativo i .

$Cof_{REB,i}$: Coeficiente de retirada de água para produção do produto extrativo i , em metro cúbico por tonelada.

EXT_i : Produção do produto extrativo i em tonelada.

2.2.4. Indústria de Transformação

Para o setor da indústria da transformação, há dados disponíveis de vazão de retirada, consumo e retorno para 24 setores da indústria de transformação para o ano de 2015. Adicionalmente à base de dados agregada, a ANA também disponibiliza em seu manual de usos consuntivos a metodologia para aplicação de coeficientes técnicos e estimativas de uso da água setoriais desagregados. Para tal, obteve-se os dados de consumo para alguns setores e para os setores com maior nível de desagregação foram aplicados os coeficientes técnicos fornecidos na publicação *Estimativa de demanda hídrica da indústria de transformação* (ANA, 2017).

Tais coeficientes foram aplicados sobre o número de empregados ativos a partir da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) para o ano de 2015, conforme equação a seguir:

$$WTR_{ind.transf,i} = Cof_{consumo} \times \left[\frac{(PO \times Cof(i) \times 365)}{1.000.000.000} \right] \quad (5)$$

Onde:

$WTR_{ind.transf,i}$: Consumo de água pela atividade i da indústria de transformação, em milhão de metro cúbico (hm^3).

$Cof_{consumo}$: Coeficiente de consumo em percentual aplicado sobre a atividade i da indústria de transformação.

Coef (i): Coeficiente de retirada de água em litros por empregado por dia.

PO: Pessoal ocupado, em número de pessoas.

2.2.5. Geração de Energia

O modelo considerou a premissa de que a geração de energia hidrelétrica é de uso não consuntivo, logo, não inclui o consumo de água através da evaporação dos reservatórios. Portanto, o dado de consumo de água na geração de energia foi adotado para o setor *Térmicas e distribuição de gás* um consumo de água de 101 hm³ em 2015, conforme ANA (2015) e IBGE e ANA (2020).

2.2.6. Abastecimento de Água e Tratamento de Esgoto

O consumo de água do setor de abastecimento de água e tratamento de esgoto foi obtido a partir de ANA (2015) que estimou o abastecimento humano urbano em 3.067,6 hm³ e rural em 884,5 hm³, somando o total de 3.952 hm³.

2.2.7. Cálculo do volume de água exportada direta nas commodities agropecuárias

A partir da estimativa da agricultura irrigada por cultivo e de consumo de água pela pecuária, realizou-se os cálculos do volume de água exportada para soja, milho, algodão e para exportação de boi. Para cálculo do volume de água direta embutida nas commodities agropecuárias exportadas utilizou-se os dados da Plataforma *Transparency for Sustainable Economies – Trase*¹ que utiliza a metodologia Informações Espacialmente Explícitas sobre Sistemas de Produção para Consumo (SEI-PCS) apresentada em GODAR et al., (2015) e TRASE (2018, 2020). Por meio da integração de um conjunto de dados sobre produção, tributação, logística, inspeções sanitárias e dados comerciais, a plataforma disponibiliza uma base dados com a rastreabilidade da origem e destino das exportações de commodities agropecuárias, por município.

Dentre os dados disponibilizados estão: ano de exportação, município da origem de produção, bioma, exportador, importador, país de destino, bloco econômico de destino, valor

¹ Acesso disponível em: <https://supplychains.trase.earth/>

em USD FOB, área de cultivo (hectare), quantidade (tonelada), área com risco de desmatamento e emissões vinculadas à conversão de uso da terra. Para estimativa da água direta embutida exportada foi utilizado o dado da área de cultivo para as cadeias da soja, milho, algodão, para o ano de 2015. Especificamente para a estimativa do uso da água para abastecimento animal adotou-se o parâmetro de conversão de tonelada de boi exportado para unidade animal (cabeça de boi), conforme coeficiente proposto em TRASE (2020), isto é, uma unidade animal igual a 450kg.

A estimativa do volume de água exportada por produto foi obtida adotando-se a premissa de que a área colhida com irrigação por pivô central em determinado município é igual a soma da área colhida com destino de uso doméstico e com destino de exportação. A partir de tal premissa, calculou-se o percentual da área total colhida com irrigação destinada à demanda interna e destinada à exportação, aplicando-se as seguintes equações:

$$Area_{i,n} = Area_{dom,i,n} + Area_{exp,i,n} \quad (6)$$

$$Perc_{exp,i,n} (\%) = \frac{Area_{exp,i,n}}{Area_{dom,i,n}} \quad (7)$$

$$Perc_{dom,i,n} (\%) = \frac{(Area_{i,n} - Area_{exp,i,n})}{Area_{i,n}} \quad (8)$$

$$WTR_{exp,i,n} \left(\frac{hm^3}{ano} \right) = Perc_{exp,i,n} \times WTR_{i,n} \quad (9)$$

Onde:

$WTR_{exp,i,n}$: Volume de água de irrigação utilizada na cultura i , no município n , destinada à exportação, em milhão de metros cúbicos (hm^3).

$Area_{i,n}$: Área colhida potencial irrigada por pivô central da cultura i , no município n .

$Area_{dom,i,n}$: Área total colhida para produção da cultura i , no município n , com destino para demanda doméstica.

$Area_{exp,i,n}$: Área total colhida para produção da cultura i , no município n , com destino para exportação.

$Perc_{exp,i,n}$: Percentual da área total colhida da cultura i , com destino para exportação.

$Perc_{dom,i,n}$: Percentual da área total colhida da cultura i , com destino para demanda doméstica.

2.3. Cálculo do investimento em infraestrutura verde

A disponibilidade hídrica água em quantidade e qualidade constitui um serviço ecossistêmico² caracterizado por falhas de mercado, em que a ausência de atribuição de um preço sobre o uso das águas superficiais e subterrâneas implica no uso ineficiente do recurso, impactando sua disponibilidade, ou seja, provocando criticidade hídrica. Tal falha de mercado torna necessária a aplicação de técnicas de valoração que estabeleçam o preço-sombra usualmente estimado para reduzir as distorções existentes no mercado decorrente da ausência de precificação ou de uma precificação que não reflète o valor social e econômico integral do bem. Portanto, a determinação do preço-sombra visa orientar uma tomada de decisão ótima sob a perspectiva social e econômica.

A valoração econômica da água contribui para diversas finalidades de políticas públicas. No contexto de alocação de recursos, a valoração visa avaliar a eficiência produtiva e equitativa da alocação dos recursos hídricos para diferentes usuários contribuindo para orientar a tomada de decisão no desenvolvimento socioeconômico. Já no contexto de avaliação da disponibilidade hídrica, a valoração contribui para estimar o impacto de eventos de escassez hídrica na produção e geração de renda das atividades econômicas. Outra importante aplicação da valoração é para a definição de política de precificação da água e no desenho de instrumentos econômicos para orientar o uso racional dos recursos hídricos e a gestão eficiente das bacias hidrográficas. Por fim, a valoração econômica da água contribui para aplicação de análises custo-benefício que visam orientar alternativas de investimento para tomada de decisão (FGVCES, 2018).

² Conforme especificado na Classificação Internacional Comum de Serviços Ecossistêmicos (CICES) para Contabilidade Ambiental e Econômica Integrada, em sua última versão 5.1, os ecossistemas aquáticos terrestres proveem diversos serviços, como: i) provisão de água potável e matéria-prima; ii) regulação associado à decomposição de poluentes em águas superficiais e subterrâneas, e; iii) serviços culturais espirituais e de lazer. No que concerne o serviço de provisão, tal classificação diferencia as águas superficiais e subterrâneas utilizadas pelas atividades econômicas para fins de produção descrevendo as seguintes classes de uso: i) Águas superficiais e subterrâneas para fins potáveis; ii) Águas superficiais e subterrâneas utilizadas como matéria-prima para fins não potáveis; iii) Águas superficiais e subterrâneas usadas como fonte de energia; iv) Água costeira e marinha usada como fonte de energia.

Embora haja diferentes técnicas propostas para valoração da água, há diversas limitações na sua aplicação. Um primeiro aspecto refere-se ao fato que o valor da água é determinado por características locais e regionais específicas à bacia hidrográfica e suas tipologias de uso. Por exemplo, o valor da água como insumo para a agricultura geralmente varia muito por município e região devido aos diferentes fatores que afetam os custos de produção, tal como solo, clima, a disponibilidade hídrica, a necessidade de irrigação, a demanda de mercado e o valor de produção. A disponibilidade e qualidade da água, assim como as tipologias de uso são determinantes importantes do valor da água. Consequentemente, o valor da água pode variar enormemente entre regiões e setores.

O manual *System of Environmental Economic Accounting for Water (SEEA-Water)* (UNITED NATIONS, 2012) apresenta algumas abordagens para valoração da água, dentre elas estão: i) a abordagem de custos de manutenção para evitar os danos causados pela degradação, como investimento em tecnologias para tratamento de efluentes; ii) a técnica de custos de ajuste estrutural que consiste naqueles incorridos para reestruturar os padrões de produção e/ou consumo da economia e reduzir os níveis de poluição da água ou outras formas de degradação ambiental; iii) a abordagem do custo de restauração que visa estimar o custo em restaurar um corpo hídrico danificado a um estado aceitável.

A luz do objetivo em valorar a água para fins de aprimorar da cobrança pelo uso da água e diante da abordagem metodológica proposta de restauração do passivo de vegetação nativa das APP como investimento em infraestrutura verde, adotou-se o método do custo de restauração das APP como fundamento para valoração da água. Para estimativa dos custos de restauração, considerou-se os valores estimados em TYMUS; LENTI (2018), adotando-se um cenário conservador para garantia da efetiva execução da restauração, ou seja, a premissa de implementação de técnica de restauração com plantio direto de mudas em um contexto de condições ambientais desfavoráveis.

Conforme explicitam os autores, os custos variam por bioma, por técnica de restauração e em função de condições ambientais, que por sua vez, interferem na composição dos custos. Dentre os itens de insumos e atividades que compõem os custos, estão: i) atividades de controle de fatores de degradação (aceiramento, cercamento com mourão, controle de formigas, cortadeiras, controle de erosão), ii) correção da fertilidade do solo

(adubação, aplicação de calcário, semeadura de adubo verde, preparo do solo); iii) plantio de mudas (aplicação de hidrogel, irrigação de salvamento, plantio, semeadura, replantio) e iv) controle de vegetação competidora (roçada e coroamento).

A Tabela 2 apresenta o custo de plantio total de mudas, por hectare, por bioma, atualizados pelo IPCA para o ano de 2021. Os custos unitários variam de R\$20.796/hectare para restauração na Amazônia a R\$26.910/hectare no Pampa.

Tabela 2: Custo total de plantio de mudas por bioma (R\$/hectare)

Bioma	Custo Plantio Total de Mudanças	Custo Plantio Total de Mudanças atualizado pelo IPCA 2021
	R\$/hectare	R\$/hectare
Amazônia	17.492	20.796
Caatinga	19.948	23.716
Cerrado*	21.603	25.683
Mata Atlântica	21.271	25.289
Pantanal	21.201	25.206
Pampa	22.634	26.910

*média formações florestais e savânicas

Fonte: Elaborado a partir de TYMUS; LENTI (2018)

2.4. Priorização de municípios para investimento em infraestrutura verde

Diante da importância em direcionar o investimento em infraestrutura verde em locais com maiores restrições hídricas e fundamentar a relevância da aplicação do instrumento da cobrança sobre o setor agropecuário, buscou-se realizar uma análise de priorização dos municípios com balanço hídrico em estado de restrição hídrica e com elevada demanda de água pelo setor agropecuário.

Para tal utilizou-se a base de dados do balanço hídrico qualitativo e quantitativo por bacia da ANA (2021), que estabelece cinco níveis de criticidade hídrica: *excelente*, *confortável*, *preocupante*, *crítico* e *muito crítico*. A partir de tal base de dados, aplicada às bacias hidrográficas, realizou-se o cruzamento com a delimitação territorial municipal e calculou-se a área dos municípios por classe de criticidade hídrica em função da parcela de cada bacia contida nos municípios. Tal cruzamento possibilitou obter as diferentes classes do

balanço hídrico em termos absolutos e percentuais nos municípios e estados. Para a análise de priorização dos municípios, aplicou-se a união de dois critérios:

- i) Municípios com bacias hidrográficas em estado de *restrição hídrica* são todos aqueles que possuem bacias com criticidade hídrica em estado *preocupante, crítica e/ou muito crítica*.
- ii) Municípios que concentram acumuladamente 90% do uso da água total para fins agropecuários a nível nacional.

A partir da identificação dos municípios prioritários na restauração das APP, calculou-se a área total de passivo de vegetação de APP, considerando as estimativas realizadas pelo Termômetro do Código Florestal (OCF, 2022).

2.5. Modelo de equilíbrio geral computável

Os modelos de Equilíbrio Geral Computável (EGC) possibilitam realizar análises de substituição entre fatores primários por meio de modificações de preço relativo e simular feedbacks de políticas públicas específicas. A luz da estrutura teórica de equilíbrio geral Walrasiano (WALRAS, 1969), formalizado por Kenneth Arrow e Gerard Debreu, os modelos EGC são fundamentados no equilíbrio de mercado, *ex ante* o choque de política, assim como retratado no Sistema de Contas Nacionais, e *ex post* a aplicação de determinado choque de política, em que os agentes econômicos (famílias, empresas, governo e setor externo) ajustam suas escolhas (fatores de produção e demanda doméstica e de exportação) com base em preços relativos de mercado até que um novo equilíbrio seja alcançado na economia. Assim, os modelos EGC permitem realizar uma representação abrangente da realidade econômica, capturando as relações entre os agentes da economia, em que determinado impacto em um setor econômico afeta outros setores por meio do ajuste nos preços relativos. A ideia inerente ao modelo é avaliar os efeitos de opções de políticas a partir da especificação de parâmetros de produção e demanda e incorporação de dados empíricos da economia (MAGALHÃES, 2013). A especificação teórica, a base de dados adotada e os indicadores do modelo ConÁgua são apresentados no capítulo 5.

3. A FLORESTA COMO INFRAESTRUTURA VERDE: INSTRUMENTOS DA GOVERNANÇA DE ÁGUA E FLORESTA

As evidências científicas da importância da vegetação nativa para conservação das águas, apresentadas na seção 1.1, apontam para a importância da integração entre a governança florestal e de recursos hídricos, de modo a garantir maior resiliência das bacias hidrográficas e reduzir os riscos de escassez hídrica. Este capítulo apresenta os instrumentos e mecanismos da governança de água e floresta e a importância de sua integração. Organizado em três seções, primeiramente, apresenta-se a definição das Áreas de Preservação Permanente (APP) como instrumento protetivo dos mananciais previsto na LPVN e realiza-se um breve diagnóstico sobre a área estimada de passivo de vegetação nativa nos estados e biomas, isto é, a ausência de cobertura vegetal nas APP. Em seguida, apresenta-se os instrumentos da PNRH, com destaque para a outorga e a cobrança pelo uso da água que possuem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e atribuir um valor econômico à água, possibilitando a arrecadação para gestão das bacias e orientando o comportamento dos usuários visando o uso racional. A terceira seção descreve os aspectos de integração dos instrumentos da governança de água e floresta, mais especificamente, aponta requisitos e condicionantes a serem criados e aprimorados no âmbito da execução da PNRH para que haja uma integração efetiva entre as normativas de água e floresta.

3.1. As áreas de preservação permanente (APP): um ativo de infraestrutura verde a ser restaurado

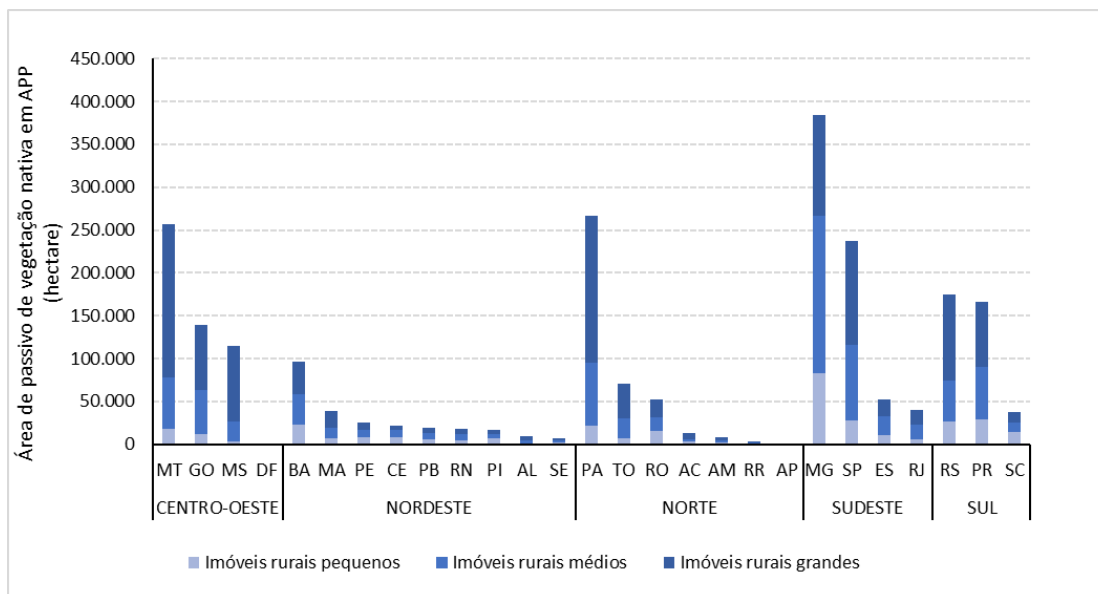
A Lei de Proteção da Vegetação Nativa, define as Área de Preservação Permanente (APP), em seu artigo 3º, como “área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas”. O artigo 7º, por sua vez, estabelece que a vegetação situada em APP deverá ser mantida pelo proprietário da área, e que, tendo ocorrido supressão de vegetação, o proprietário da área, possuidor ou ocupante a qualquer título é obrigado a promover a recomposição da vegetação. O artigo 4º estabelece as diferentes tipologias de APP em zonas rurais ou urbanas, classificadas em: i) faixas marginais de curso d’água natural

perene e intermitente, por faixa de largura do rio; ii) áreas no entorno dos lagos e lagoas naturais; iii) áreas no entorno dos reservatórios d'água artificiais, decorrentes de barramento ou represamento de cursos d'água naturais; iv) áreas no entorno das nascentes e dos olhos d'água perenes; v) encostas; vi) restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues; vii) manguezais; viii) bordas dos tabuleiros ou chapadas; ix) topos de morros, montes, montanhas e serras; x) áreas em altitude superior a 1.800 metros; e xi) veredas.

A determinação de proteção da vegetação nas APP tem por objetivo, portanto, garantir a proteção dos ecossistemas aquáticos, através da proteção das nascentes e dos processos hidrológicos de recarga hídrica nos topos de morro que alimentam os afluentes, assim como a proteção contra a erosão e o controle da produção de sedimentos através das faixas marginais de proteção dos rios. Contudo, há descumprimento da conservação das APP, prejudicando os serviços de regulação hidrológica. Conforme aponta o Termômetro do Código Florestal, iniciativa do Observatório do Código Florestal (OCF, 2019), estima-se que as APP somam 7,8 milhões de hectares, e que desse total, 2,3 milhões de hectares (29%) são desprovidos de vegetação nativa a ser restaurada de modo a garantir o cumprimento da LPVN.

O Gráfico 1 apresenta as áreas de passivo de vegetação nativa nas APP, por estado, majoritariamente distribuída nos imóveis rurais grandes e médios, 50% e 34%, respectivamente. Os imóveis rurais pequenos representam 15% do passivo de vegetação em APP. Observa-se que a região Sudeste é aquela que concentra a maior área de passivo de vegetação em APP, com 31% do passivo total, seguido da região do Centro-oeste com 23%, do Norte com 18%, do Sul com 17% e Nordeste com 11%. O estado do Minas Gerais possui a maior área de passivo a ser restaurada, de 385,6 mil hectares (17%), seguido do Pará com uma área de passivo de 266,2 mil hectares (11,7%), Mato Grosso com 256,5 mil hectares (11,3%), São Paulo com 237 mil hectares (10,5%), Rio Grande do Sul com 174,4 mil hectares (7,7%) e o Paraná com 166,4 hectares (7,3%).

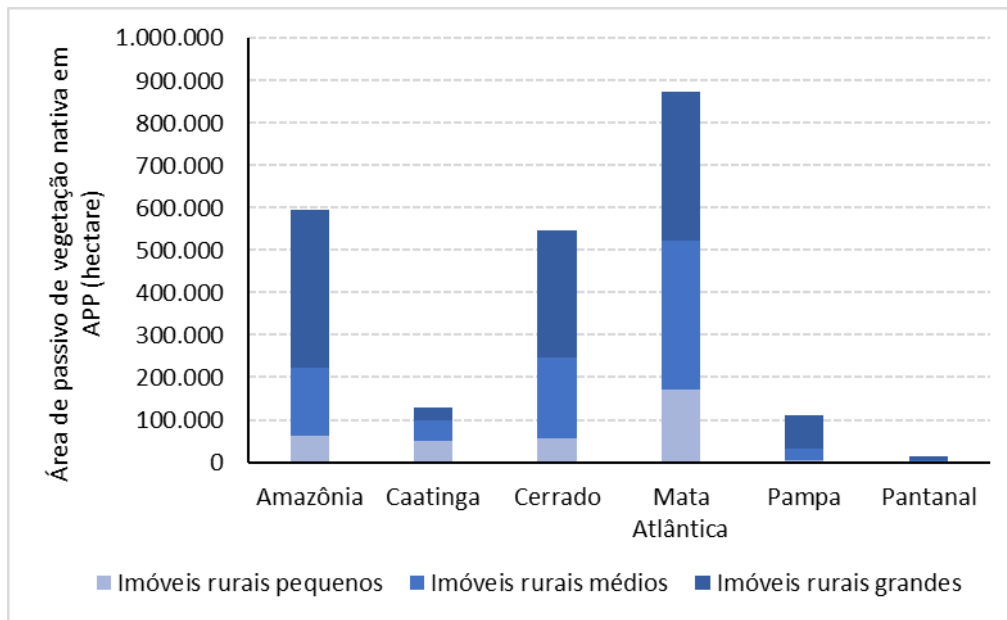
Gráfico 1: Área de passivo florestal em Área de Preservação Permanente em imóveis rurais pequenos, médios e grandes, por estado e região, em hectare



Fonte: Elaboração a partir de OCF (2022)

Ao analisar a área de passivo de vegetação nativa em APP por bioma, observa-se que a Mata Atlântica concentra 872,7 mil hectares, ou seja, 38% do passivo de vegetação nativa em APP, seguido da Amazônia com 26%, do Cerrado com 24%, da Caatinga 6%, do Pampa 5% e Pantanal 1% (Gráfico 2).

Gráfico 2: Área de passivo florestal em Área de Preservação Permanente em imóveis rurais pequenos, médios e grandes, por bioma, em hectare



Fonte: Elaboração a partir de OCF (2022)

A implementação da LPVN se dá no âmbito estadual, por isso, é fundamental o protagonismo dos estados na regulamentação e operacionalização das regras e instrumentos para o seu sucesso. A regularização ambiental de imóveis rurais com passivo de vegetação em APP possui três etapas: (i) inscrição, análise e validação do CAR; (ii) pedido de adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA), apresentação e validação do Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas e Alteradas (PRADA) e assinatura do Termo de Compromisso; e (iii) recuperação dos passivos em APP e Reserva Legal (RL) e o monitoramento do Termo de Compromisso.

A análise e validação do CAR pelo órgão estadual competente visa verificar se as informações declaradas estão corretas, se há passivos ambientais (desmatamento irregular em APP ou Reserva Legal), excedente de vegetação nativa e se é preciso fazer alguma correção ou complementação nas informações do cadastro (CHIAVARI; LOPES; ARAUJO, 2021). O PRA, por sua vez, é um conjunto de regras sobre o processo de regularização baseado nos passivos de APP e de RL validados no CAR, e prevê que o produtor deverá propor um Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas ou Alteradas (PRADA) que, uma

vez aprovado pelo órgão ambiental, será a base de um Termo de Compromisso assinado pelo produtor (LIMA; MUNHOZ, 2016).

Para que as APP consolidadas sejam regularizadas, a LPVN prevê os seguintes métodos para sua recomposição: i) plantio de nativas; ii) plantio de espécies nativas conjugado com regeneração natural; iii) plantio intercalado de nativas com exóticas em até 50% para pequenas propriedades rurais, e; iv) regeneração natural.

A restauração ou regeneração de APP possui metragens diferenciadas por módulo fiscal e tipologia de APP, conforme apresentado na Tabela 3 (CHIAVARI; LOPES; ARAUJO, 2021).

Tabela 3: Metragens de restauração ou regeneração para regularização de APP consolidadas

	Tamanho do Imóvel rural (em módulos fiscais)				
	1 MF	1 - 2 MF	2 - 4 MF	4 - 10 MF	maior de 10 MF
Largura do curso d'água	qualquer largura	qualquer largura	qualquer largura	10 metros de largura	qualquer largura
APP de rios	5 metros	8 metros	15 metros	30 - 100 metros (depende do caso)	31 - 100 metros (depende do caso)
APP de nascentes	15 metros	15 metros	15 metros	15 metros	15 metros
APP de lagoas	5 metros	8 metros	15 metros	30 metros	30 metros
APP de veredas	30 metros	30 metros	30 metros	50 metros	50 metros

Fonte: LIMA; MUNHOZ, 2016

Embora a LPVN explicita a função ecológica das APP em garantir a preservação dos recursos hídricos, ou seja, servindo como infraestrutura verde para favorecer o balanço hídrico, não há observância do cumprimento das APP por parte dos instrumentos de governança adotados pela PNRH. Portanto, se mostra fundamental, na perspectiva da governança das águas, a adoção de práticas que orientem os agentes usuários da água a direcionarem esforços para o cumprimento das APP. A seção a seguir apresenta os instrumentos da PNRH que poderiam adotar tais incentivos, orientando os usuários de água a regularizarem as APP a partir da restauração do passivo de vegetação nativa, de modo a buscar maior resiliência hídrica das bacias hidrográficas.

3.2. Dos instrumentos de outorga e de cobrança pelo uso da água

Conforme estabelecido no artigo 2º da Lei nº 9.433/1997, dentre os objetivos da PNRH, estão: i) assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; ii) garantir a utilização racional e integrada dos recursos hídricos; iii) garantir a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais, e; iv) incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais. A PNRH organiza-se de modo a garantir a uma gestão integrada, descentralizada e participativa dos recursos hídricos, prevendo a aplicação de cinco instrumentos de gestão que visam oferecer mecanismos e organizar a gestão por meio de ações de planejamento, regulação, fiscalização e divulgação de informações, são eles (ANA., 2019b, 2020, 2022):

- i) O Plano de Recursos Hídricos (PRH) que constituem os planos diretores considerando as especificidades das bacias hidrográficas acerca dos aspectos hídricos, sociais, econômicos, políticos e ambientais. Os PRH contemplam três fases de planejamento, a saber, o diagnóstico, o prognóstico e o plano de ações. Neles são identificadas ações de gestão, estudos, projetos, intervenções e investimentos prioritários dentro da perspectiva de uma visão integrada dos usos múltiplos da água.
- ii) A outorga de direito de uso dos recursos hídricos é o instrumento do tipo comando e controle que delibera ao detentor o direito de captação de água e de lançamento de efluentes.
- iii) A cobrança pelo uso dos recursos hídricos é o instrumento econômico aplicado aos usuários detentores de outorga com a finalidade de atribuir um valor econômico pelo uso da água e incentivar a adoção de medidas e tecnologias para o uso racional.
- iv) O enquadramento dos cursos d'água em classes de uso visa assegurar o nível de qualidade das águas compatível com os usos preponderantes da bacia e

diminuir os custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes.

- v) O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é formado por um grande banco de dados e informações sobre a situação dos recursos hídricos do País, em termos de quantidade, qualidade e de sua gestão, envolvendo um conjunto de processos para coletar, organizar e transmitir dados e informações.

A Figura 3 apresenta a inter-relação entre os instrumentos e cabe destacar que há uma interdependência entre eles. Como exemplo, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos requer a existência da outorga de direito de uso, assim como do plano de recursos hídricos da bacia, uma vez que este indicará as ações e os investimentos prioritários para garantir o cumprimento das metas do plano. Já a concessão de outorga de direito de uso requer a observação da classe de enquadramento do corpo d'água antes de ser emitida. O cadastro de usuários no SNIRH e a fiscalização são ações para regularização dos usos que impactam especialmente na outorga e na cobrança (ANA., 2022).

Os *usuários da água* são usualmente agregados em seis grandes setores – abastecimento humano (rural e urbano), agricultura, abastecimento animal (pecuária), mineração, indústria de transformação e termelétrica – que demandam três tipos de usos consuntivos da água sujeitos aos instrumentos de outorga e cobrança pelo uso da água. A *captação* de água bruta constitui a retirada de água do corpo hídrico que pode ser quantificada pelo volume anual de água captado. O *lançamento de efluente* consiste no descarte de efluentes, e representa a quantidade de água necessária para diluir a carga de poluente lançada no corpo hídrico. O *consumo* de água consiste na parcela do volume captado que não é devolvida ao corpo hídrico, logo, pode ser quantificada pela diferença entre o volume de água captado e o volume de água que retorna ao corpo hídrico.

Figura 3: Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos



Fonte: ANA., 2020

Diante dessas tipologias de uso – captação, consumo e lançamento de efluentes – o objetivo de se garantir a disponibilidade hídrica quali-quantitativa em níveis satisfatórios depende do pleno funcionamento dos instrumentos de gestão nas bacias hidrográficas, sejam elas federais (interestaduais) ou estaduais. Contudo, é através da outorga e da cobrança pelo uso da água que se estabelece incentivos diretos sobre o comportamento dos agentes em relação ao uso da água, logo, é a luz desses dois instrumentos que se pretende analisar a integração da governança de água e floresta.

3.2.1. Outorga pelo uso da água e condicionantes

A outorga de direito de uso confere ao detentor o direito de uso dos recursos hídricos, isto é, de captação de água e lançamento de efluentes. A autoridade outorgante, estadual ou federal, responsabiliza-se pela alocação da quantidade e qualidade de recursos hídricos na bacia. Ela se ocupa da distribuição e do controle do uso dos recursos hídricos entre os usuários e suas interferências no sistema hídrico, desde suas nascentes até a sua foz. A análise técnica de solicitações de outorga é feita em duas vertentes (ANA, 2019a):

- i) A análise do balanço hídrico do empreendimento a luz do objetivo do uso racional: visa verificar se a vazão/volume que está sendo pleiteado é compatível com a população a ser atendida (no caso de saneamento), área a ser irrigada, culturas, clima, método (no caso de irrigação), tipologia industrial e volume de produção (no caso da indústria ou mineração). Trata-se de atender ao fundamento da lei que preconiza o uso racional da água.
- ii) A análise da disponibilidade hídrica e do balanço hídrico da bacia hidrográfica: visa verificar se o manancial em que se pleiteia a outorga tem capacidade para atender à nova demanda, dada a sua hidrologia e dado que já existem outros usuários outorgados na mesma bacia cuja demanda deve ser preservada. Para tal, são consideradas as vazões mínimas dos rios principais e seus afluentes, fazendo com que a administração e o usuário tenham segurança de que esta vazão está efetivamente disponível com a frequência adequada. Trata-se, portanto, de atender o aspecto de garantia de acesso à água, assegurando-se de que a vazão/volume pleiteado está disponível para o uso.

A outorga contribui para o objetivo de utilização racional dos recursos hídricos. Nesse sentido, de forma complementar à autorização da vazão/volume de uso, têm sido inseridas condicionantes visando a obrigatoriedade da adoção de tecnologias para redução das perdas nos sistemas de abastecimento, para o aumento da eficiência dos sistemas de irrigação e para o aumento da cobertura e eficiência dos sistemas de tratamento de esgotos, entre outros. Apesar desse esforço, muitas vezes esse instrumento não dispõe do *enforcement* suficiente para induzir uma mudança real de padrão de uso da água. É necessária maior integração entre a atuação dos entes outorgantes com outros entes, como as agências reguladoras de

saneamento, por exemplo, para que as condicionantes de redução de perdas e aumento do tratamento de esgotos sejam consideradas na definição das tarifas do serviço de saneamento, de modo a viabilizar a execução das medidas necessárias para o cumprimento das condicionantes (ANA, 2019a).

Considerando que a outorga tem por objetivo garantir que o balanço hídrico não atinja nível de elevada criticidade hídrica em decorrência da ação antrópica, outras tipologias de condicionantes podem ser propostas. Conforme apresentado em ANA (2019) não há menção de condicionantes vinculadas específicas ao cumprimento e regularização ambiental das APP, conforme exigências da LPVN. Contudo, uma vez que o setor agropecuário é um importante usuário de água e que há 2,3 milhões de hectares desprovidos de vegetação nativa nas APP, gerando impacto na disponibilidade hídrica das bacias em decorrência da perda de serviços ecossistêmicos de regulação hidrológica, considera-se a importância da outorga condicionar o direito de uso da água à regularização ambiental e cumprimento da LPVN, garantindo a infraestrutura verde das APP. A criação de condicionantes de outorga pelo uso da água contribuiria para incentivar o setor agropecuário a executar a LPVN, além de garantir a integração da governança de água e floresta que possuem interfaces e objetivos comuns relacionados à proteção dos serviços de regulação hidrológica.

3.2.2. Cobrança pelo uso da água: objetivos, estágio de implementação e componentes de cálculo

A luz dos conceitos de poluidor-pagador e usuário-pagador, dentre as determinações da PNRH estão o reconhecimento da água como um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, o qual provém da premissa de que todo recurso limitado deve ser eficientemente gerenciado de forma a evitar sua escassez, e em situação dela, poderá afetar a população e as relações econômicas. Conforme estabelecido na PNRH, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos como instrumento econômico possui três principais objetivos:

- i) Reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação de seu real valor;
- ii) Incentivar a racionalização do uso da água;
- iii) Obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos.

Diferentemente de instrumentos tributários utilizados para garantir a prestação de serviços públicos, a cobrança pelo uso da água não é um imposto, mas constitui um pagamento pelo uso privado de um recurso comum, cujos objetivos de arrecadação consistem tanto em incentivar o comportamento dos agentes usuários para o uso racional da água, como também para obtenção de recursos para custear ações nas bacias hidrográficas que garantam a disponibilidade hídrica satisfatória quali-quantitativa.

O preço cobrado pelo uso de recursos hídricos é fixado a partir da ampla participação dos usuários da água, da sociedade civil e do poder público no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica – CBHs e de outros órgãos do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH).

A implantação da cobrança pode refletir o avanço da gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, pois, em geral, resulta da instalação, funcionamento e amadurecimento dos Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH) e dos Conselhos de Recursos Hídricos (CRH), assim como da elaboração do Plano de Bacia Hidrográfica e da efetivação da Outorga de Direito de Uso ou do cadastro de usuários. Entretanto, há também situações em que a implementação da cobrança proporcionou recursos financeiros para a instalação e o funcionamento dos Comitês de Bacia Hidrográfica, assim como recursos financeiros para a elaboração dos Planos de Bacia Hidrográfica e para a gestão dos recursos hídricos (como no Ceará e Rio de Janeiro). A Tabela 4 apresenta as diferentes competências institucionais por órgão do SINGREH relacionadas à implementação da cobrança.

Tabela 4: Atribuições dos entes do SINGREH relacionadas à cobrança pelo uso da água

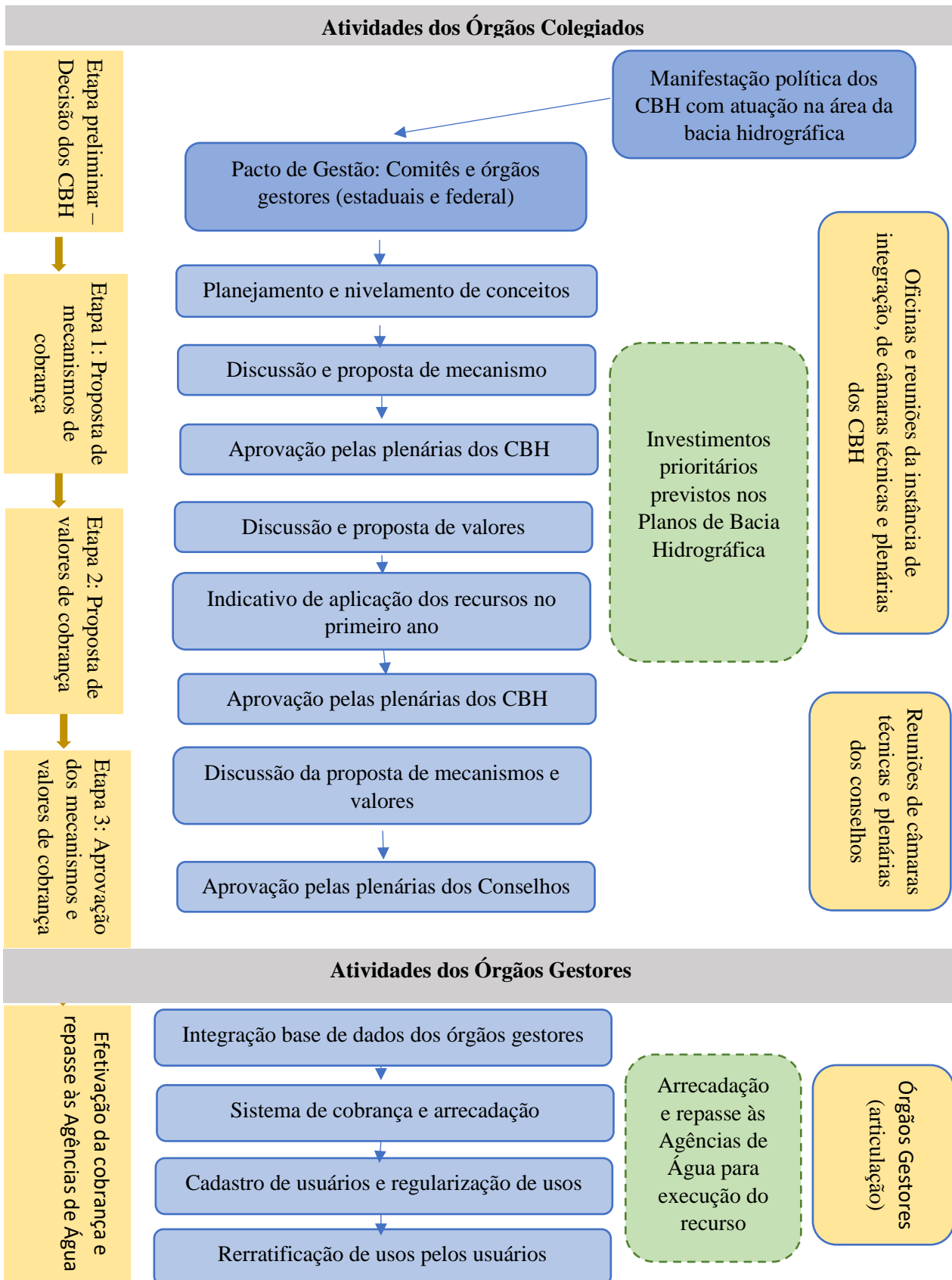
SINGREH	Competências relacionadas à cobrança
Comitês de Bacia Hidrográfica (CBH)	Aprova o Plano de Recursos Hídricos da bacia. Solicita a criação da Agência de Água da bacia hidrográfica Propõe ao respectivo Conselho de Recursos Hídricos os usos de pouca expressão, para efeito de isenção da Outorga, e conseqüentemente, da Cobrança. Estabelece os mecanismos de Cobrança e sugere os valores a serem cobrados. Aprova o Plano de Aplicação dos recursos arrecadados com a Cobrança.
Conselhos de Recursos Hídricos	Delibera sobre as questões que lhe tenham sido encaminhadas pelos Comitês de Bacia Hidrográfica. Estabelece critérios gerais para a Cobrança. Define os valores a serem cobrados pelo uso de recursos hídricos com base nos mecanismos estabelecidos e valores sugeridos pelos Comitês de Bacia Hidrográfica.

Agências de Água	<p>Autoriza a criação ou delega funções de Agência de Águas de Água</p> <p>Efetua, mediante delegação do outorgante, a Cobrança pelo Uso.</p> <p>Analisa e emite pareceres sobre os projetos e obras a serem financiados com recursos gerados pela Cobrança e os encaminha à instituição financeira responsável pela administração desses recursos.</p> <p>Elabora o Plano de Recursos Hídricos para apreciação do Comitê de Bacia Hidrográfica.</p> <p>Propõe ao Comitê de Bacia Hidrográfica: i) os valores a serem cobrados e ii) o plano de aplicação dos recursos arrecadados com a Cobrança.</p> <p>Acompanhar a administração financeira dos recursos arrecadados;</p>
ANA e Órgãos estaduais gestores	<p>Implementa a Cobrança em articulação com os Comitês de Bacias Hidrográficas.</p> <p>Elabora estudos técnicos para subsidiar o respectivo Conselho de Recursos Hídricos na definição dos valores a serem cobrados.</p> <p>Efetua a Cobrança, podendo delegá-la às Agências de Água.</p>

Fonte: ANA., 2014

A Figura 4 a seguir apresenta as diferentes etapas e os atores envolvidos no processo de implementação da cobrança pela ANA.

Figura 4: Passos para implementação da Cobrança



Fonte: Adaptado de ANA., 2014

A dominialidade das bacias hidrográficas, seja da União nas bacias interestaduais, ou do Estado, influencia nas competências de implementação da Cobrança. Como exemplo, na bacia hidrográfica do rio São Francisco há oito domínios distintos das águas: da União e dos Estados de Minas Gerais, de Goiás, do Distrito Federal, da Bahia, de Pernambuco, de Alagoas e de Sergipe. Cada domínio tem sua própria política, critérios e entes para a gestão dos recursos hídricos. Desta forma, há coexistência de diversos Comitês de Bacia Hidrográfica, Conselhos de Recursos Hídricos e órgãos gestores atuando sobre um mesmo recorte territorial. A implementação da Cobrança em cada um destes domínios segue ritos diferentes e a arrecadação pode não ser gerenciada por uma única agência de bacia hidrográfica. Um importante efeito da dupla dominialidade – federal e estadual - é que se gera uma assimetria na implementação e no gerenciamento da Cobrança entre usuários que estão em uma mesma bacia hidrográfica, mas que utilizam água de domínios distintos (ANA., 2019b).

O avanço da implementação da cobrança ocorreu nas seguintes bacias estaduais e interestaduais (ANA, 2023):

- i) Em rios de domínio da União, a cobrança foi iniciada em seis bacias, a saber, na Bacia do Rio Paraíba do Sul, nas Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (PCJ), na Bacia do Rio São Francisco, na Bacia do Rio Doce, na Bacia do Rio Paranaíba e na Bacia do Rio Verde Grande.
- ii) Em rios de domínio do Estado do Rio de Janeiro, Minas Gerais e Paraíba, a cobrança foi iniciada em todo o Estado.
- iii) Em rios de domínio do Estado de São Paulo, a cobrança foi iniciada em todo o Estado, a exceção do Litoral Norte.
- iv) Em rios de domínio do Estado do Paraná, a cobrança foi iniciada somente nas bacias do Alto Iguaçu e Afluentes do Alto Ribeira.
- v) No Estado do Ceará, desde 1996, está instituída tarifa de cobrança pelo uso de recursos hídricos superficiais e subterrâneos cuja a arrecadação, dentre outras, é destinada ao custeio das atividades do gerenciamento dos recursos hídricos, envolvendo os serviços de operação e manutenção dos dispositivos e da

infraestrutura hidráulica (embora denominada tarifa, parte da cobrança no Ceará também tem características de preço público).

- vi) No Estado da Bahia, desde 2006, está instituída tarifa de cobrança pelo fornecimento de água bruta dos reservatórios, sendo parte da receita destinada à administração, operação e manutenção da infraestrutura hídrica dos reservatórios (a cobrança na Bahia tem características típicas de tarifa).
- vii) No Distrito Federal foi criada a taxa de fiscalização dos usos dos recursos hídricos - TFU, devida pelos usuários de recursos hídricos pela fiscalização desses usos em qualquer modalidade.
- viii) Os Estados do Amapá, Pará e Paraná instituíram uma taxa de controle, acompanhamento e fiscalização das atividades de exploração e aproveitamento de recursos hídricos - TFRH, cujo fato gerador é o exercício regular do Poder de Polícia conferido ao Estado sobre estas atividades, tendo como contribuintes aqueles que utilizam recursos hídricos como insumo no seu processo produtivo ou com a finalidade de exploração ou aproveitamento econômico.
- ix) O município de Florianópolis/SC instituiu contribuição financeira ambiental pela utilização de recursos hídricos superficiais e subterrâneos por prestadores de serviços de saneamento básico beneficiários da proteção proporcionada por unidades de conservação municipal, muito próxima à cobrança pelo uso de recursos hídricos (Decreto nº 24.357/2022).

Observa-se que rios de domínio dos estados do Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Rondônia, Tocantins, Maranhão, Rio Grande do Norte, Piauí, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Espírito Santo, possuem CBH estaduais criados, porém não possuem cobrança implementada. Os estados do Amazonas e do Pará possuem algumas bacias hidrográficas com CBH instituídos, contudo, ainda não possuem cobrança implementada. No estado do Piauí foi editado Decreto para implementação da cobrança, contudo, ainda não se encontra implementada. Os estados do Acre e Roraima não possuem nenhum CBH estadual criado e tampouco cobrança pelo uso da água. Portanto, nas bacias hidrográficas desses estados, nenhum valor econômico é atribuído ao uso da água aos setores usuários e tampouco é obtido recurso financeiro para gestão de suas bacias.

A Figura 5 apresenta a cobrança implementada nas bacias estaduais e a Figura 6 nas bacias interestaduais.

Figura 5: Cobrança pelo uso da água nas Bacias Estaduais até o ano 2023

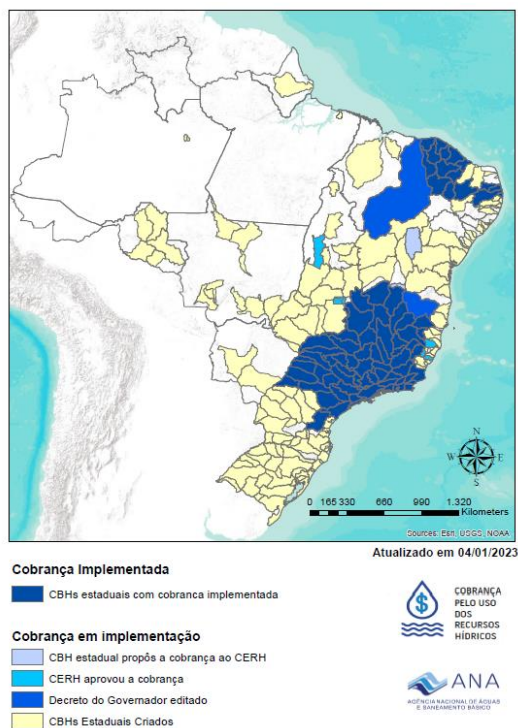
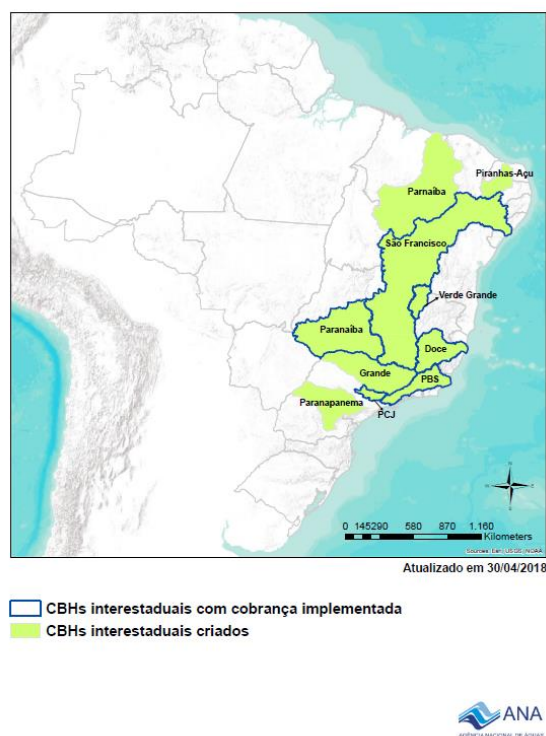


Figura 6: Cobrança pelo uso da água nas Bacias Interestaduais até o ano 2023



Fonte: ANA, 2023

Idealmente, a definição do preço cobrado deve buscar garantir a sustentabilidade financeira da gestão das bacias hidrográficas a ser determinada em função das ações prioritárias definidas nos planos de recursos hídricos da bacia. Portanto, o objetivo político da cobrança é que o montante arrecadado viabilize o financiamento dos investimentos necessários previstos nos planos e a execução do custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do SINGREH (sendo este pagamento limitado a 7,5% do total arrecadado), de modo a proporcionar benefícios relevantes e uma gestão da bacia eficiente.

A metodologia de cálculo da cobrança aplicada nas Bacias Hidrográficas federais e estaduais possui uma fórmula aplicada, de modo simplificado, possuindo essencialmente três

variáveis, a saber, a base de cálculo, o Preço Público Unitário (PPU) e os coeficientes multiplicadores:

$$\text{Valor cobrança} = Q \times PPU \times k \quad (10)$$

Em que:

Q: consiste na base de cálculo que visa quantificar o volume utilizado de água considerando os três diferentes tipos de uso, vazão de captação (em m³), vazão de consumo (em m³), e volume de lançamento de efluentes e/ou diluição (em Demanda Bioquímica de Oxigênio - DBO) e transposição (em m³).

PPU: constitui o Preço Público Unitário (R\$ por m³), isto é, o valor unitário da vazão/volume de uso da água, com base nos objetivos do instrumento da Cobrança.

k: constitui os coeficientes que visam adaptar os mecanismos aos objetivos do plano de bacia a partir de incentivo a boas práticas pelos usuários. Em geral, os coeficientes *k* variam de 0 a 1, logo, sua aplicação contribui para o abatimento do valor da cobrança e não de sua majoração.

A base de cálculo *Q* é o componente que visa a quantificar o uso da água em função da tipologia de uso, caracterizada por vazões de captação, consumo e lançamento/retorno de efluentes. A vazão de retirada é definida como o montante captado diretamente no corpo hídrico, ao passo que a vazão de consumo é a fração da retirada que não retorna ao corpo hídrico, podendo ocorrer por evaporação, transpiração, incorporação em produtos, consumo por seres vivos, dentre outros. Por sua vez, a vazão de retorno é a fração da retirada que retorna ao corpo hídrico, por exemplo, os lançamentos de efluentes industriais e domésticos. O volume anual de água captado é quantificado pelo volume anual outorgado ou através de uma soma ponderada do volume anual outorgado e do volume anual medido. Já a água consumida é calculada como a diferença entre o volume captado e de retorno, considerando a carga de poluentes no efluente lançado.

O Preço Público Unitário, *PPU*, é o sinalizador do valor unitário da água (R\$/m³) e, conforme mencionado, deve ser baseado no investimento previsto nos planos de bacia hidrográfica e nos custos operacionais das Agências de Água. Preferencialmente, os PPU devem ser distintos por finalidade de uso (saneamento, industrial, mineração, termelétrica,

energia hidrelétrica, irrigação, criação animal, aquicultura, turismo e outros), de modo a refletir tanto a distinção entre as capacidades de pagamento das diferentes atividades econômicas, quanto também, eventualmente, os diferentes impactos que cada setor pode estar causando na bacia. São desejáveis esquemas de PPU que diferenciem a cobrança até mesmo entre segmentos de cada setor, na medida em que promovam não só a eficiência no uso da água, mas também a equidade, no quadro de um maior potencial de arrecadação, podendo gerar maiores benefícios para a bacia (ANA, 2017).

Os valores unitários de cobrança, para serem equitativos, também poderiam variar em função de características econômicas do empreendimento. Como exemplo, um estabelecimento rural de agricultura familiar (de pequeno porte) não deveria pagar o mesmo valor unitário que um grande estabelecimento rural que realiza irrigação para exportação de commodities agrícolas. Nesses contextos, de grandes disparidades socioeconômicas, são desejáveis esquemas de preços que diferenciem a cobrança entre os setores em função das distintas capacidades de pagamento, na medida em que promovam o uso racional da água com equidade. Se os preços são distintos, setores com maior capacidade de pagamento poderão ter preços mais altos, sem comprometer as suas finanças, o que levará a uma maior arrecadação, maior incentivo ao uso racional e, conseqüentemente, maior atingimento dos objetivos gerais e específicos da cobrança. Pode-se, também, considerar a possibilidade de adotar, para alguns casos, preços unitários crescentes por blocos de quantidade, como ocorre no Ceará para os preços unitários da irrigação (ANA, 2017).

Os coeficientes k são o componente dos mecanismos que visa ajustar a cobrança a objetos específicos, portanto, levam em conta metas específicas e ajustes na fórmula, como por exemplo, as metas de enquadramento de qualidade da água dos corpos hídricos, as metas de redução de perda no setor de saneamento, as metas de boas práticas no setor agrícola. É importante ressaltar que na maioria dos casos os coeficientes k variam de 0 a 1, portanto, são aplicados com o objetivo de criar incentivo ao uso racional a partir do abatimento do valor da cobrança e não da majoração como forma de penalização. Logo, tal como é aplicado, atualmente, a aplicação do k tende a reduzir o valor arrecadado e não majorar.

3.2.3. Preço médio aplicado da cobrança pelo uso da água e evolução da arrecadação no Brasil

O preço unitário aplicado por usuário (agropecuária, saneamento, indústria, mineração e outros) para as diferentes tipologias de uso da água (captação, consumo, lançamento de efluentes e transposição) varia por CBH. A Tabela 5 apresenta os preços unitários cobrados nos CBH interestaduais em 2023. Observa-se que o CBH do Rio Doce é aquele que pratica o maior valor unitário de captação de água bruta com R\$0,0526/m³, seguido do CBH do Rio Paraíba do Sul com R\$0,0294/m³. Os valores cobrados para captação de água bruta nas bacias dos rios PCJ e São Francisco se aproximam, com R\$0,0171/m³ e R\$0,0151/m³, sendo 3 vezes inferiores ao preço praticado na bacia do Rio Doce. Similarmente, a bacia do Rio Doce é aquela que pratica o maior preço unitário sobre o lançamento de efluentes de R\$0,2804/kg, seguido da bacia do Rio Paraíba do Sul com R\$0,2058/kg de DBO. O CBH Rio Paraíba possui preços unitários diferenciados para uso geral e uso rural, de R\$0,0398/m³ e R\$0,0052/m³, respectivamente, ou seja, o preço unitário para uso rural é 7,6 vezes inferior ao preço praticado para outros usuários.

Tabela 5: Preços unitários de cobrança pelo uso da água de domínio da União, em 2023.

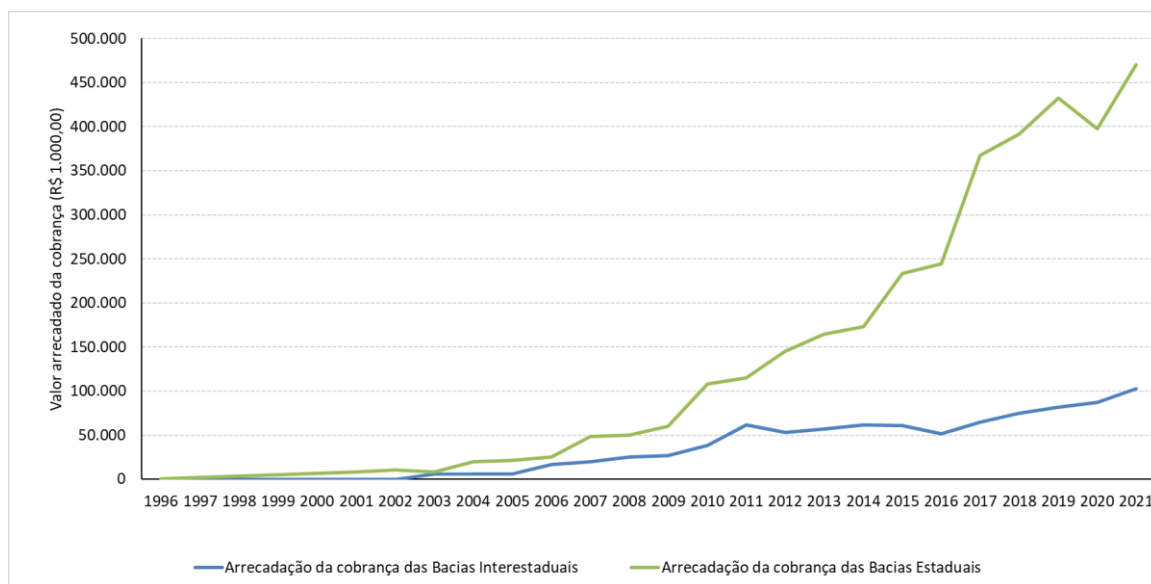
Tipo de uso	Unidade	Bacias Hidrográficas							
		Rio Paraíba do Sul	dos Rios PCJ	Rio São Francisco	Rio Doce	Rio Paraíba		Rio Verde Grande	
						usos gerais	usos rurais	usos gerais	usos rurais
Captação de água bruta	R\$/m ³	0,0294	0,0171	0,0151	0,0526	0,0398	0,0052	0,0032	0,0032
Consumo de água bruta	R\$/m ³	0,0588	0,0344	0,0302					
Lançamento de efluentes	R\$/kg de DBO	0,2058	0,1718			0,2117	0,2117	0,16	0,16
	R\$/kg				0,2804				
	R\$/m ³			0,0015					
Transposição de bacia	R\$/m ³		0,0258		0,0703				

Fonte: (ANA, 2022a)

Embora a cobrança ainda não seja aplicada em grande parte das bacias hidrográficas estaduais, observa-se um crescimento significativo na evolução da arrecadação da cobrança pelos estados, conforme apresentado no Gráfico 3. O crescimento da arrecadação das bacias

estaduais é superior àquele das bacias interestaduais ao longo do período. Em 2021, a arrecadação pelo uso da água somou R\$572,8 milhões, sendo que 82% foram arrecadados em bacias estaduais e 18% em bacias interestaduais. Desde o ano em que se iniciou a aplicação da cobrança nas bacias interestaduais, em 2003, ocorreu um aumento na arrecadação das bacias interestaduais de 1.640% e de 5.579% das bacias estaduais, o que demonstra a evolução da governança estadual dos recursos hídricos.

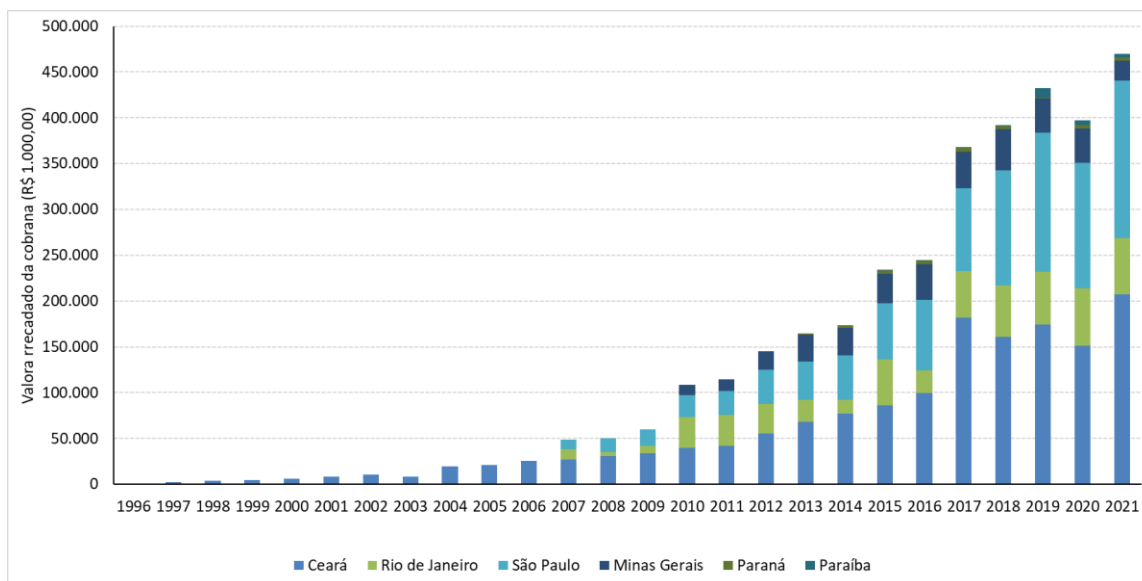
Gráfico 3: Evolução da arrecadação da cobrança nas bacias interestaduais estaduais entre 1996 e 2021 (R\$.1000,00)



Fonte: Elaboração própria a partir de ANA.

Conforme mostra o Gráfico 4, nas bacias estaduais, o estado com a maior participação na arrecadação é o Ceará com arrecadação de R\$207,3 milhões, isto é, 44% do total arrecadado em 2021, seguido de São Paulo com R\$171,8 milhões (37%), Rio de Janeiro com R\$61,4 milhões (13%) e Minas Gerais com R\$21,1 milhões (5%), Paraná e Paraíba com 1% ambos. A relevância da arrecadação da cobrança no Ceará justifica-se pela situação de restrição hídrica em grande parte do estado, o que resultou na rápida implementação da cobrança. Por outro lado, outros estados, como Rio Grande do Sul e Goiás que possuem relevante demanda hídrica a nível nacional, ainda não implementaram a cobrança.

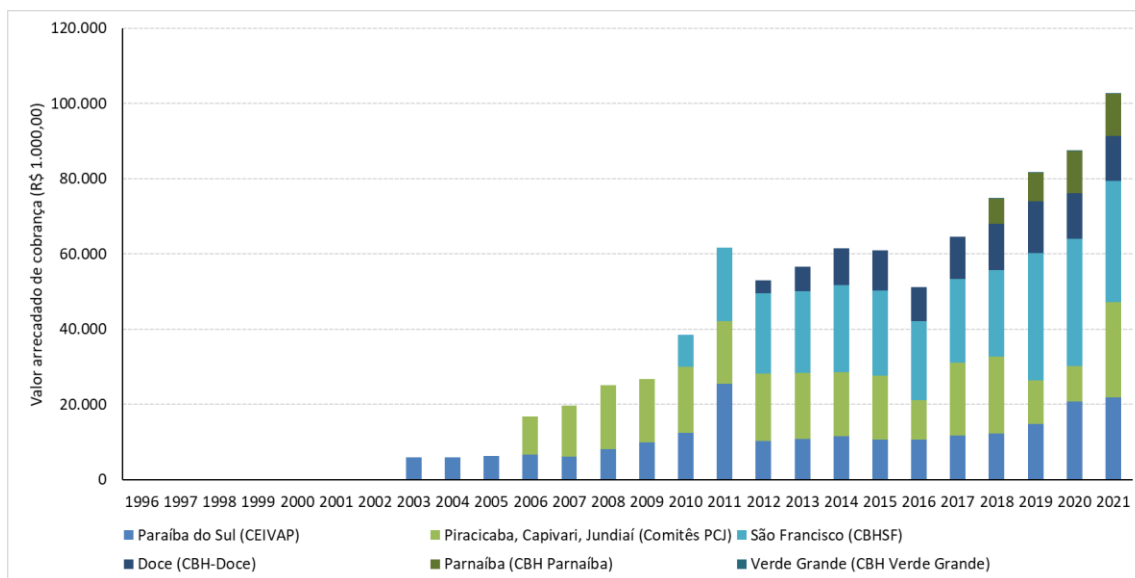
Gráfico 4: Evolução da arrecadação da cobrança nas bacias estaduais entre 1996 e 2021 (R\$.1000,00)



Fonte: Elaboração própria a partir de ANA.

Conforme mostra o Gráfico 5, em 2021, dentre as bacias interestaduais com o maior valor arrecadado é a bacia do Rio São Francisco com arrecadação de R\$32,2 milhões, representando 31% do total arrecadado em 2021, seguido da bacia dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá com arrecadação de R\$25,3 milhões (25%), do Rio Paraíba do Sul com arrecadação de R\$21,8 milhões (21%), Rio Doce com arrecadação de R\$12 milhões (12%) e Parnaíba com arrecadação de R\$11,2 milhões (11%).

Gráfico 5: Evolução da arrecadação da cobrança nas bacias interestaduais entre 1996 e 2021 (R\$.1000,00)



Fonte: Elaboração própria a partir de ANA.

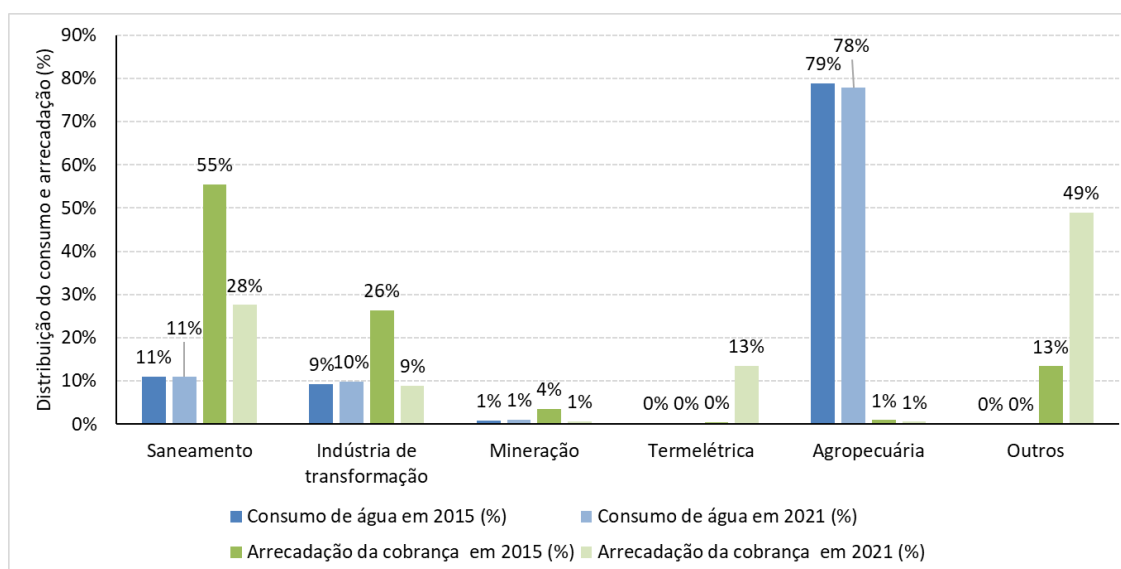
Visando comparar a proporção da arrecadação da cobrança e do nível de consumo a nível nacional, o Gráfico 6 apresenta a distribuição do consumo total de água e do valor total arrecadado, por tipologia de usuário, para dois anos 2015 e 2021. Observa-se uma grande discrepância do pagamento da cobrança entre os usuários, em especial entre o setor de saneamento e agropecuário.

Embora o setor da agropecuária tenha concentrado 79% e 78% do consumo total de água no país, em 2015 e 2021, respectivamente, este contribuiu com apenas 1% da arrecadação total da cobrança em ambos os períodos. Portanto, embora este setor represente a maior demanda hídrica setorial, não se identifica um aumento relativo da arrecadação da cobrança. O setor de saneamento, por sua vez, representando em torno de 11% do consumo total de água, é aquele que contribuiu com a maior participação na arrecadação da cobrança., 55% em 2015 e 28% em 2021. Tais distribuições mostram que, a nível nacional, independentemente das distribuições de consumo e arrecadação por bacia, o setor de saneamento é aquele que atualmente mais contribui para internalização do custo da gestão dos recursos hídricos a nível nacional. Por outro lado, o setor agropecuário, embora seja o

maior usuário a nível nacional, é aquele que menos contribui na arrecadação da cobrança para a gestão nacional dos recursos hídricos. Tal fato decorre de dois principais motivos: o primeiro deles é pela ausência de implementação da cobrança em estados e bacias hidrográficas com elevada demanda de água pelo setor, e o segundo justifica-se pelo baixo valor do preço público unitário definido para o setor, comparativamente aos demais usuários.

A indústria de transformação, por sua vez, concentrou em torno de 9% e 10% do consumo total de água, em 2015 e 2021, respectivamente, e contribuiu com 26% da arrecadação em 2015 e 9% em 2021.

Gráfico 6: Distribuição setorial do consumo de água e do valor arrecadado da cobrança pelo uso da água, por usuário, em 2015 e 2021.



Fonte: Elaboração própria a partir de ANA.

Uma análise comparativa internacional demonstra igualmente o quanto os preços praticados nas bacias hidrográficas no Brasil são baixos comparativamente aos demais países. A Tabela 6 apresenta o preço da água pago pelo setor agropecuário no Brasil representa 8,4 vezes inferior ao preço da água para irrigação na França, e 3,8 vezes inferior ao preço pago pelo setor da agricultura e aquicultura em Portugal. Já o preço pago pelo setor de saneamento, pode chegar a representar 73,1 vezes inferior ao preço pago na Austrália, 8,5 vezes inferior ao preço pago na França, 10,4 vezes inferior na Alemanha e 2,5 vezes em Portugal.

Tabela 6: Análise comparativa internacional dos preços da água

Países	Preço internacional da água por setor de usuário (R\$/m3)	Preço nacional da água por setor de usuário (R\$/m3)	Preço internacional/Preço nacional
Austrália	Abastecimento urbano: 1,23746	Saneamento: 0,01692	73,1 vezes
	Outros: 0,60145	Outros: 0,00982	61,2 vezes
França	Abastecimento de água: 0,14437	Saneamento: 0,01692	8,5 vezes
	Irrigação: 0,03094	Agropecuária: 0,00269	8,4 vezes
Alemanha	Abastecimento público: 0,17531	Saneamento: 0,01692	10,4 vezes
	Produção térmica e outros: 0,03437	Termoelétrica: 0,02118	1,6 vezes
Portugal	Agricultura e aquicultura: 0,01031	Agropecuária: 0,00269	3,8 vezes
	Abastecimento municipal: 0,04469	Saneamento: 0,01692	2,5 vezes
	Energia térmica: 0,00928	Termoelétrica: 0,02118	0,4 vez

Fonte: ANA., 2019b

Embora o atual modelo de cobrança esteja em constante evolução e aperfeiçoamento pelos Comitês de Bacia Hidrográfica, identificam-se algumas limitações que podem levar a alocações economicamente ineficientes.

Uma primeira limitação consiste na definição do preço unitário, o principal componente monetário da fórmula. Considerando que os valores arrecadados da cobrança são aplicados na bacia hidrográfica em que foram gerados, atualmente o preço unitário não reflete de forma efetiva as despesas previstas nos planos da bacia hidrográfica e os custos operacionais das agências de água, não garantindo assim a sustentabilidade financeira dos CBH. Logo, atualmente, os baixos valores aplicados levam a uma baixa arrecadação que não atende os investimentos previstos nos planos. Tal insuficiência orçamentária prejudica o desenvolvimento das ações, inviabilizando a execução dos planos de bacia.

O estudo realizado pela OCDE (2017) destaca também que a razão pela qual a cobrança não impacta ou é considerada irrelevante deriva do fato de ser arrecadada sem propósito visível e, portanto, é vista como mero instrumento fiscal, cuja percepção dos usuários é que suas contribuições não agregam valor. Às vezes, as receitas são alocadas em programas de investimento (como saneamento) que possuem proporções muito maiores. Em outros casos, os fundos arrecadados, quando utilizados, são distribuídos para pequenas

despesas que os contribuintes não reconhecem como importantes, o que também afeta a disposição de os usuários pagarem.

A cobrança ainda sofre muita resistência para sua implementação e para aperfeiçoamentos. A partir de sua implantação numa bacia hidrográfica é colocada toda expectativa de curto prazo de que haja disponibilidade de água em padrões de qualidade adequados a todos os usos, ou seja, dela se exige que haja uma imediata recuperação da bacia hidrográfica, assim como a despoluição dos rios. Se isto não ocorre, são levantados argumentos e questionamentos de que a cobrança não está alcançando o seu objetivo. Neste aspecto acrescenta-se que, em geral, os valores arrecadados pela Cobrança não podem ser considerados como a única fonte de recursos, pois em grande parte dos casos, os valores arrecadados são bem inferiores aos valores orçados no âmbito dos programas de intervenções dos planos de recursos hídricos das bacias hidrográficas, trazendo uma falsa sensação de ineficácia do instrumento (ANA., 2019b).

3.3. Aspectos da integração da governança de água e floresta

O mais recente Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH 2022-2040, a partir de seu diagnóstico de degradação e vulnerabilidade ambiental que se encontram as regiões hidrográficas do país, estabeleceu em seu Plano de Ação a criação do Programa 4 “Integração da PNRH com Políticas e Planos Setoriais”. No escopo deste programa foi definido o subprograma 4.2 “Revitalização de Bacias Hidrográficas”, cujo objetivo consiste em “promover ações integradas para a recuperação de bacias hidrográficas com foco na conservação de águas em áreas urbanas e rurais, por meio do instrumento econômico de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA), visando o uso sustentável dos recursos naturais, a melhoria das condições socioambientais e o aumento da disponibilidade hídrica, em quantidade e qualidade, para os diversos usos” (ANA, 2022b)

No contexto do subprograma de revitalização das bacias hidrográficas, foi definido um leque de ações voltadas à recuperação dos recursos naturais, principalmente nas APP, áreas degradadas e de recarga de aquíferos, incluindo a recomposição da cobertura vegetal, a conservação da biodiversidade e ecossistemas aquáticos, a proteção de nascentes; a gestão racional da água, dentre outros. A partir de tais ações, busca-se reverter os processos que

levam à redução da disponibilidade hídrica e enfrentar os graves problemas de escassez, conflitos pelo uso da água, assoreamento dos cursos d'água, poluição hídrica e balanços hídricos desfavoráveis. Para tal, o plano de ação prevê integração da gestão das águas com gestão ambiental e territorial, uma vez que a definição de revitalização perpassa os cuidados diretos com a disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade para diversos usos.

O subprograma destaca a importância em definir fontes de recursos seguras para o financiamento das ações de revitalização estabelece diversas macrodiretrizes, dentre elas, o incentivo do PSA com recursos oriundos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos para a conservação da vegetação nativa em áreas críticas e manutenção das intervenções de conservação de água e solo. Portanto, promover o fortalecimento e a ampliação de Programas de PSA e a homologação da Política de PSA mostra-se uma demanda a ser atendida pelo PNRH 2022-2040.

Vale destacar que a primeira implementação do PSA ocorreu com a PNRH que, a partir do pagamento da cobrança pelo uso da água possibilitou a geração de recursos para instituição de PSA em medidas de conservação na própria bacia hidrográfica visando melhorias na qualidade e disponibilidade hídrica. Para incentivar o produtor rural a investir em ações que ajudem a preservar a água, a ANA criou o Programa Produtor de Água (PPA) que adota o instrumento de PSA como suporte técnico e financeiro para incentivar os produtores rurais a investirem na restauração e conservação de áreas prioritárias visando a segurança hídrica, através da implementação de práticas conservacionistas. Idealizado em 2001, o PPA já apoiou cerca de 60 projetos distribuídos por 15 estados (ANA, 2022b).

De forma complementar, o país passou a ter a primeira indicação específica ao PSA com a aprovação da LPVN, que em seu artigo 41º, inciso I, autoriza o poder público a instituir um programa de apoio e incentivo à conservação do meio ambiente, bem como para adoção de tecnologias e boas práticas que conciliem a produtividade agropecuária e florestal, com redução dos impactos ambientais, a partir do pagamento ou incentivo a serviços ambientais como retribuição, monetária ou não, às atividades de conservação e melhoria dos ecossistemas e que gerem serviços ambientais.

Adicionalmente, em 2021, após um longo período de tramitação no Congresso Nacional, foi instituída a Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais - PNPSA

(Lei nº 14.119/2021), um marco legal que reconhece a importância da agenda de conservação ambiental nas práticas agrícolas e gera segurança jurídica para esquemas de PSA, públicos e privados. Em seu artigo 9º, em que define a elegibilidade dos imóveis privados para provimento de serviços ambientais, estabelece que “as Áreas de Preservação Permanente, Reserva Legal e outras sob limitação administrativa nos termos da legislação ambiental serão elegíveis para pagamento por serviços ambientais com uso de recursos públicos, conforme regulamento, com preferência para aquelas localizadas em bacias hidrográficas consideradas críticas para o abastecimento público de água, assim definidas pelo órgão competente, ou em áreas prioritárias para conservação da diversidade biológica em processo de desertificação ou avançada fragmentação”. Além disso, em seu artigo 21º permite que “as receitas oriundas da Cobrança pelo uso dos recursos hídricos de que trata a Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, poderão ser destinadas a ações de pagamento por serviços ambientais que promovam a conservação e a melhoria da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos e deverão ser aplicadas conforme decisão do comitê da bacia hidrográfica”.

4. A EXPORTAÇÃO DE ÁGUA EM COMMODITIES AGROPECUÁRIAS E A PRIORIZAÇÃO DE MUNICÍPIOS PARA INVESTIMENTO EM INFRAESTRUTURA VERDE

Assim como já destacado na revisão da literatura, o balanço hídrico é condicionado às restrições naturais de disponibilidade e a diversos outros fatores associados à conservação ou degradação das bacias hidrográficas e à demanda hídrica pelas atividades econômicas. Identificar, regionalmente, a demanda setorial pelo uso da água e a degradação de áreas prioritárias para conservação das bacias hidrográficas, mostra-se uma etapa indispensável para direcionar os esforços para a estratégia de implementação dos instrumentos de gestão que objetive a resiliência hídrica local.

A água é utilizada como fator primário, de maneira direta e indireta, na produção da grande maioria dos produtos. A demanda pelo uso de água no Brasil é crescente, com um aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado de água nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente 23% (ANA., 2020). O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao processo de urbanização do país e ao modelo de desenvolvimento econômico que interferem no crescimento das demandas dos principais setores usuários da água, a saber, agricultura, pecuária, mineração, indústria de transformação, geração de energia e abastecimento humano.

O principal usuário de água no país é a agricultura irrigada, que através de equipamentos de irrigação suplementa o regime de chuvas em regiões com escassez mais acentuada, como o Semiárido, e em locais com períodos específicos de seca, como a região do Centro-Oeste. Em 2019, o volume total de água consumida no país foi de 35.478 hm³ (o equivalente a 1.125 m³/s), sendo que 66,1% do consumo foi para uso de irrigação, 11,6% para abastecimento animal, 9,7% para indústria de transformação, 9,0% para abastecimento humano urbano, 2,4% para abastecimento rural, 0,9% para mineração e 0,3% para termelétricas (ANA., 2020).

As Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA) (ANA, 2018; IBGE, 2018; IBGE; 2020) disponibilizam os dados setoriais de uso da água conforme metodologia do Sistema de Contas Nacionais, possibilitando relacionar a geração de valor adicionado aos fluxos de uso da água por atividade econômica. Conforme os dados das CEAA, em 2017, o

setor da agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura, apresenta a menor eficiência média do consumo de água, em relação aos demais setores, gerando R\$10,47 por m³, ao passo que a indústria de transformação e construção gerou R\$291,16 por m³, a indústria extrativa R\$297,22 por m³ e o setor de eletricidade e gás R\$1.401,06 por m³. A eficiência varia consideravelmente por região em função da disponibilidade hídrica e dos regimes de chuva. O setor da agropecuária, na região Nordeste, possui uma eficiência de apenas R\$6,6 por m³, ao passo na região Norte a eficiência é de R\$26,27 por m³. Já na região Sudeste esse setor possui uma eficiência de R\$8,59 por m³, no Sul R\$11,57 por m³ e no Centro-Oeste de R\$15,81 por m³ (ANA., 2022).

Conforme definido por ALLAN (1998), a água virtual se refere à quantidade de água utilizada na forma de captação direta e indireta a partir do consumo de seus insumos, para produção de bens e serviços. A elevada participação da exportação de produtos agropecuários torna a economia brasileira e sua pauta exportadora altamente dependente dos recursos hídricos e das condições climáticas. Ademais, tal comércio contribui para a superexploração local dos recursos hídricos, contribuindo para potenciais conflitos socioambientais pelo uso da água em regiões com uma regulamentação fraca e sem a devida internalização dos custos da governança, uma vez que não é aplicada nenhuma cobrança pelo uso da água sobre os setores usuários que exportam água (HOEKSTRA, 2008; VÖRÖSMARTY et al., 2015). Em função da predominância do setor agropecuário na demanda hídrica do país e da baixa contribuição no pagamento da cobrança por esse setor, o presente capítulo visa relacionar, regionalmente, o volume de água embutida nas commodities agropecuárias e as desvantagens socioambientais decorrentes de restrição hídrica e da ausência de vegetação nativa em APP.

O capítulo está dividido em três seções. A primeira seção apresenta as estimativas do uso da água para as principais commodities agropecuárias brasileiras, isto é, soja, algodão, milho e carne bovina. A segunda seção realiza uma análise regionalizada de municípios com restrição hídrica e passivo de APP, de modo a identificar aqueles prioritários para investimento em infraestrutura verde. A terceira seção, por sua vez, estima os custos da restauração das APP nos municípios com elevada demanda agropecuária e restrição hídrica, de modo a subsidiar a definição da precificação pelo uso da água para garantir os investimentos em infraestrutura verde. O objetivo desse capítulo consiste na identificação

das áreas prioritárias para implementação da cobrança e integração dos instrumentos de governança de água e floresta.

4.1. Volume de água direta embutida na produção de commodities agropecuárias para exportação e demanda interna

Entre 2015 e 2020, os dados de Contas Nacionais (IBGE, 2015; IBGE, 2020) mostram que a participação da exportação do setor agropecuário nas exportações totais passou de 15,3% para 18,9%, totalizando R\$118,2 bilhões e R\$ 236,8 bilhões, respectivamente. Desse total, os produtos que contribuem com a maior participação nas exportações foram a soja (contribuindo com 9,1% e 12,2% das exportações nacionais em 2015 e 2020, respectivamente), seguido do milho em grão (2,3% em 2015 e 2,5% em 2020), café (2,4% em 2015 e 2,2% em 2020) e algodão (0,6% em 2015 e 1,3% em 2020). Logo, esses quatro produtos somaram 14,4% das exportações nacionais em 2015 e 18,1% em 2020. Se analisada a participação desses produtos apenas na pauta exportadora agrícola, estes concentraram 95,6% e 81,3% da exportação de produtos agrícolas em 2015 e 2020, respectivamente. A exportação de carne (bovinos e outros animais vivos, suínos, aves e ovos e leite de vaca) não transformada, representou 0,3% das exportações nacionais em 2015 e em 2020. Observa-se que, no entanto, a exportação de produtos industrializados da carne de bovinos representou 7% e 7,6% das exportações nacionais em 2015 e 2020, respectivamente.

Além da relevância dos produtos agrícolas nas exportações, identifica-se igualmente uma importante participação desses produtos na área total colhida no Brasil. Conforme dados da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM) (IBGE), a soma da área colhida apenas desses cultivos representou 87% e 89% da área colhida total do país em 2015 e 2021, respectivamente, passando de 66 milhões de hectares para 76,4 milhões de hectares, isto é, um crescimento de 16% no período (2,6% a.a.) (Tabela 7). É importante destacar que, em 2021, apenas o cultivo da soja representou 46% da área colhida nacional, o milho 22% e a cana-de-açúcar 12%, perfazendo um total de 79% da área total de plantio no país em 2021. Os cultivos que apresentaram a maior variação de área colhida entre 2015 e 2021 foram o algodão, o milho, a soja e o trigo, com crescimento de 33%, 23%, 22% e 11%, respectivamente.

Tabela 7: Área colhida em hectare e participação na área total colhida nacional dos principais produtos agrícolas, em 2015 e 2021.

Produtos da lavoura temporária e permanente	Área colhida				
	2015		2021		Var. 2015-2021 (%)
	hectares	%	hectares	%	
Algodão herbáceo	1.032.935	1%	1.369.562	2%	33%
Arroz (em casca)	2.138.397	3%	1.689.189	2%	-21%
Café (em grão)	1.977.714	3%	1.836.741	2%	-7%
Cana-de-açúcar	10.111.376	13%	9.970.958	12%	-1%
Laranja	678.807	1%	578.057	1%	-15%
Milho (em grão)	15.407.143	20%	19.024.538	22%	23%
Soja (em grão)	32.181.243	42%	39.168.068	46%	22%
Trigo (em grão)	2.472.628	3%	2.750.264	3%	11%
Subtotal	66.000.243	87%	76.387.377	89%	16%
Outros produtos	9.984.152	13%	9.460.083	11%	-5%
Total	75.984.395	100%	85.847.460	100%	13%

Fonte: Elaborado a partir de IBGE

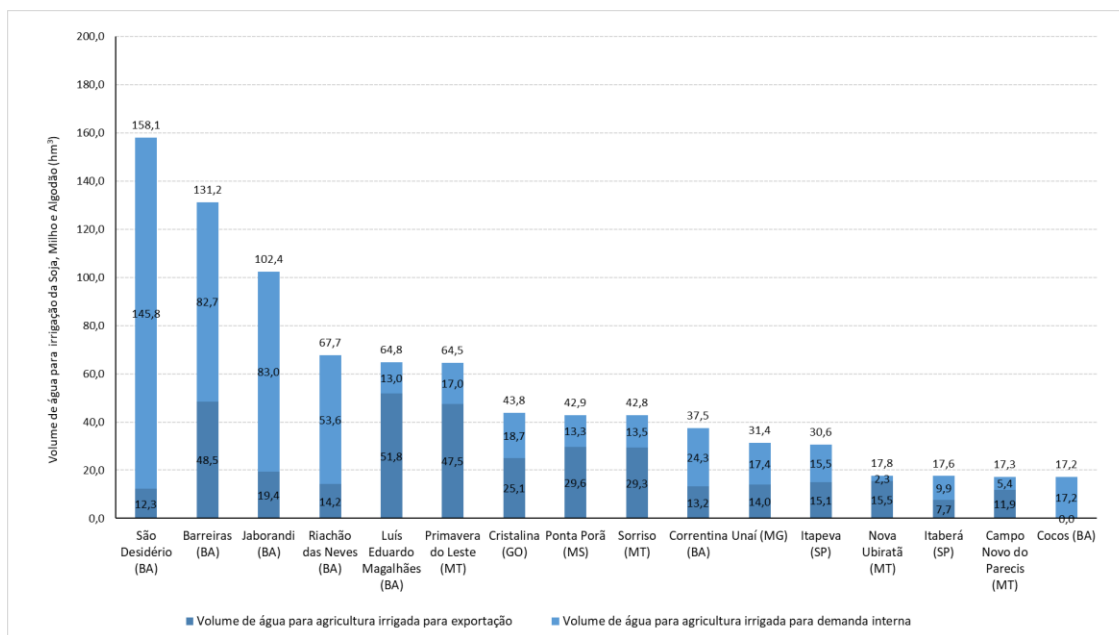
Considerando a relevância desses produtos agrícolas na pauta exportadora do país e o aumento da demanda de terras para cultivo, realizou-se a estimativa da água virtual exportada desses produtos. Tal análise teve por objetivo avaliar a importância das exportações na demanda hídrica local e identificar as regiões cujo balanço hídrico possa estar sendo potencialmente impactado pelas exportações. Logo, a análise regionalizada das exportações de água virtual se mostra fundamental para se avaliar regionalmente possível relação entre as exportações e o estado de criticidade do balanço hídrico local de modo a indicar a necessidade de implementação de instrumentos de gestão dos recursos hídricos.

As estimativas do volume de água exportada e volume de água para demanda interna dos produtos Soja, Milho e Algodão possibilitaram identificar os municípios que concentram os maiores volume de irrigação total para esses produtos. A partir da aplicação da metodologia descrita na seção 2.2, o volume total de água para o cultivo de irrigação de soja, milho e algodão, em 2015, foi de 1.760 hm³, sendo que 740,5 hm³ (42%) destinados à exportação e 1.020 hm³ (58%) destinados à demanda interna.

Ao analisar os municípios com maiores demandas de irrigação na produção de soja, milho e algodão, identifica-se que 16 municípios concentram 50% da demanda total de água, conforme apresentado no Gráfico 7. Cinco municípios do Oeste da Bahia lideram a demanda

por irrigação desses produtos. Em primeiro, encontra-se São Desidério (BA) com uma demanda de água para irrigação de 158 hm³ (9% da demanda total de irrigação desses três produtos). Desse volume, 8% foram para fins de exportação e 92% para demanda interna. Em segundo, Barreiras (BA) registrou uma demanda de irrigação de 131,2 hm³ (7% da demanda total de irrigação desses três produtos) sendo que 37% para exportação e 63% para demanda interna. Os municípios com os maiores percentuais de demanda de irrigação para fins de exportação foram Luís Eduardo Magalhães (BA) e Primavera do Leste (MT) que contabilizaram uma demanda de água de 64,8 hm³ e 64,4 hm³, respectivamente, sendo que 80% e 74% para exportação, respectivamente.

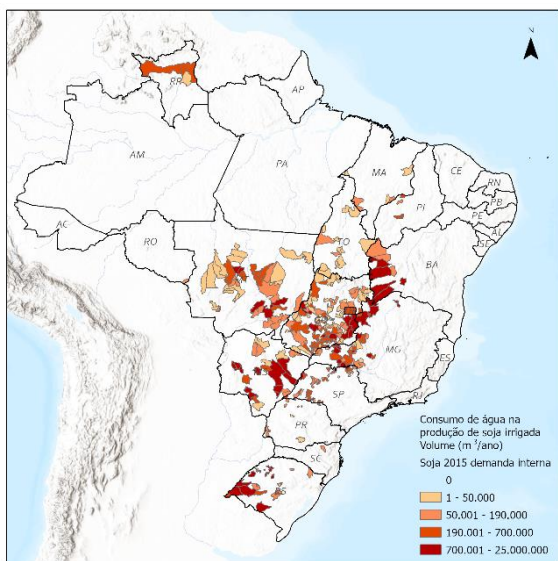
Gráfico 7: Volume total de água para fins de irrigação da Soja, Milho e Algodão, com destino de demanda interna e exportação, dos principais municípios produtores, em hm³, ano 2015.



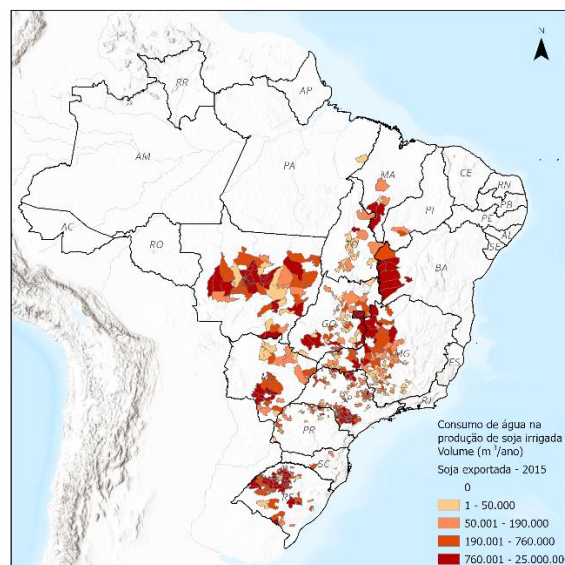
Fonte: Elaboração própria

Os Mapas 1 e 2 apresentam o consumo de água para produção de soja irrigada por município com destino para demanda interna e para exportação. Estima-se um total de consumo de água para produção de soja irrigada de 592,4 hm³ em 2015, sendo que 446,0 hm³ (75%) foi exportada. Do volume total de água exportada, 29% foram provenientes do Rio Grande do Sul, 23% de São Paulo, 12% da Bahia, 11% de Minas Gerais, 9% do Mato Grosso, 8% do Mato Grosso do Sul e 4% do Goiás.

Mapa 1: Consumo de água na produção de soja irrigada com destino para consumo doméstico (m³/ano) em 2015



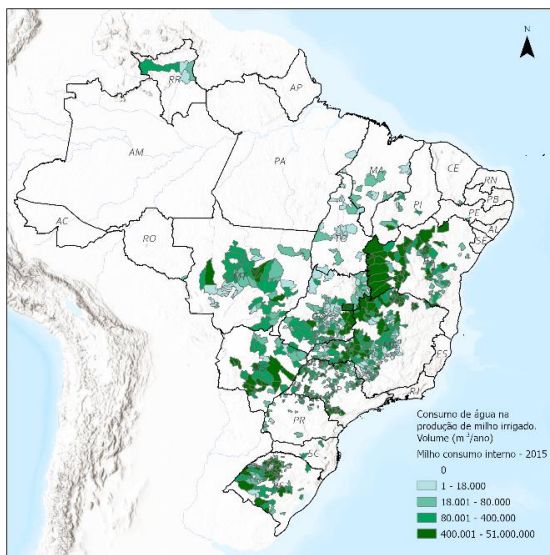
Mapa 2: Consumo de água na produção de soja irrigada com destino para exportação (m³/ano) em 2015



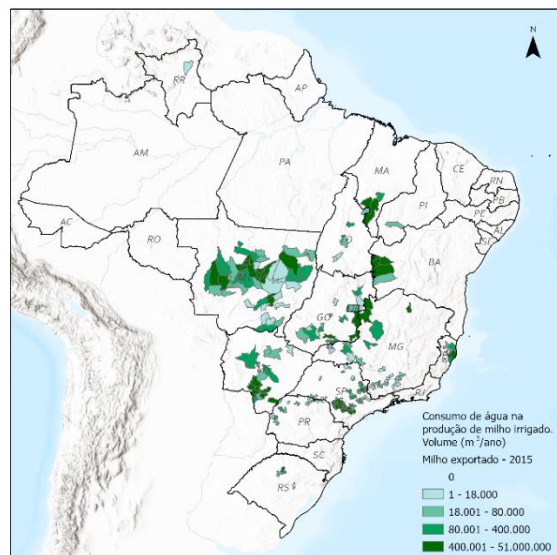
Fonte: Elaboração própria

Os Mapas 3 e 4 apresentam o consumo de água para produção de milho irrigado por município com destino para demanda interna e para exportação. Estima-se um total de consumo de água para produção de milho irrigado de 563,2 hm³ em 2015, sendo que 91,3 hm³ (16%) foi exportada. Do volume total de água exportada na produção de milho, 39% foram provenientes de São Paulo, 16% do Mato Grosso, 12% do Mato Grosso do Sul, 11% da Bahia, 8% de Goiás, 4% de Minas Gerais e 3% do Maranhão.

Mapa 3: Consumo de água na produção de milho irrigado com destino para consumo doméstico (m³/ano) em 2015



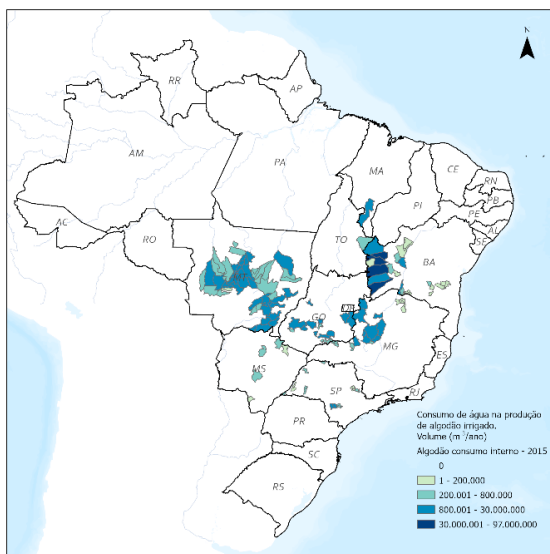
Mapa 4: Consumo de água na produção de milho irrigado com destino para exportação (m³/ano) em 2015



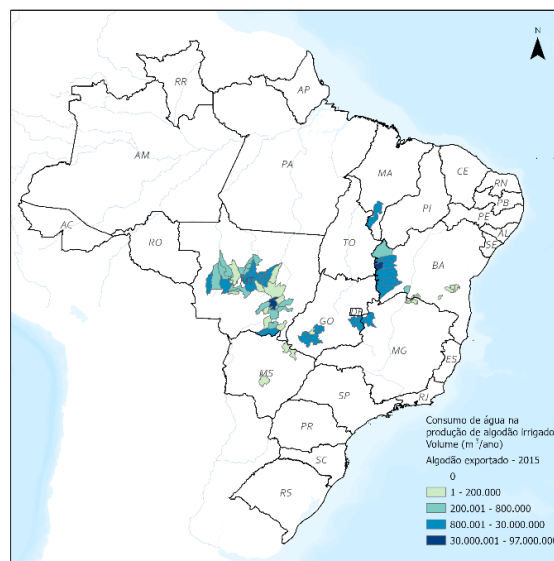
Fonte: Elaboração própria

Os Mapas 5 e 6 apresentam o consumo de água para produção de algodão irrigado por município com destino para demanda interna e para exportação. Estima-se um total de consumo de água para produção de algodão irrigado de 640,97 hm³ em 2015, sendo que 203,2 hm³ (32%) foi exportada. Do volume total de água exportada na produção de algodão, 49% foram provenientes da Bahia, 40% do Mato Grosso, 9% do Goiás, 2% de Minas Gerais e 1% do Maranhão.

Mapa 5: Consumo de água na produção de algodão irrigado com destino para consumo doméstico (m³/ano) em 2015



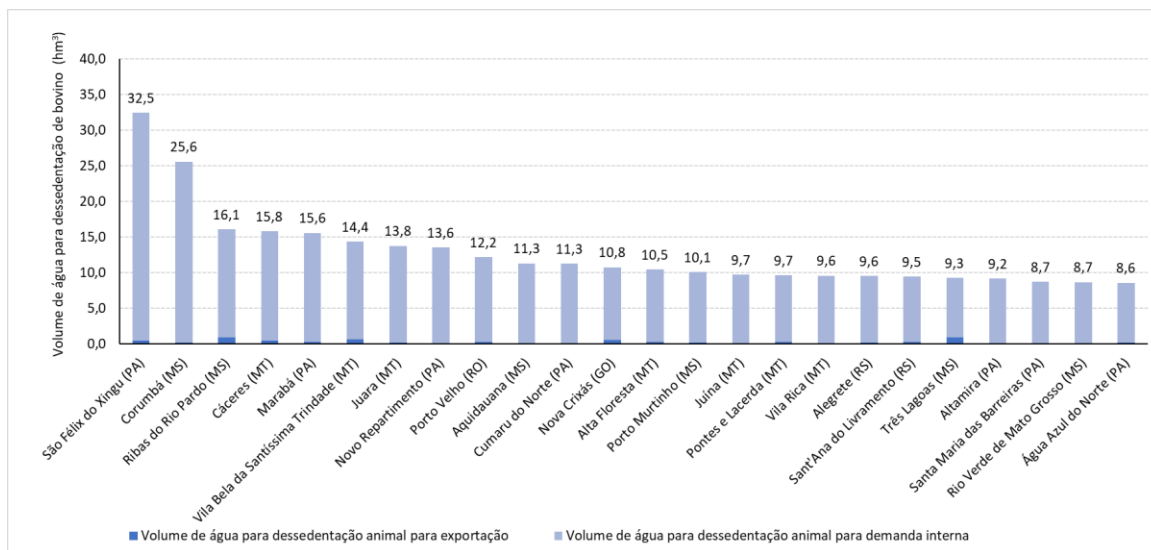
Mapa 6: Consumo de água na produção de algodão irrigado com destino para exportação (m³/ano) em 2015



Fonte: Elaboração própria

O volume de água para fins de dessedentação de bovino foi estimado 3.093 hm³, em 2015, sendo que 65,5 hm³ (2%) foi exportada. Um dos motivos da baixa participação da exportação de água no caso de bovinos, é pelo fato da grande parcela da exportação de produtos da pecuária ocorrer após seu beneficiamento. Ao analisar os municípios com os maiores volumes de demanda de água para dessedentação animal, observa-se que São Félix do Xingu (PA) registrou a maior demanda de água com 32,5 hm³ (1% da demanda total de água para uso abastecimento animal), seguido de Corumbá (MS) com 25,6 hm³ (0,8%), conforme apresentado no Gráfico 8.

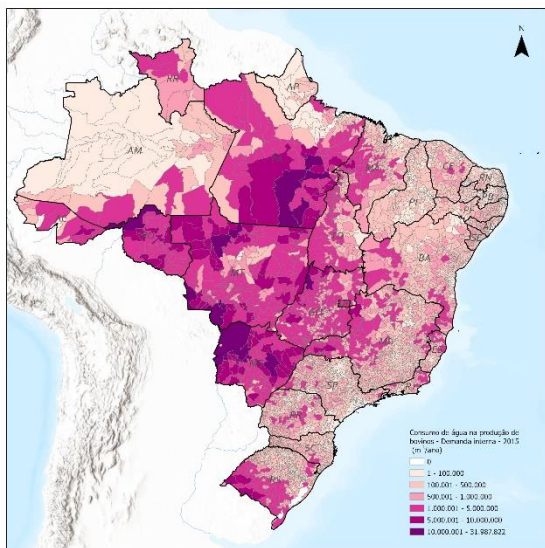
Gráfico 8: Volume total de uso de água na produção de bovinos, com destino de demanda interna e exportação, dos principais municípios produtores, em hm³, em 2015.



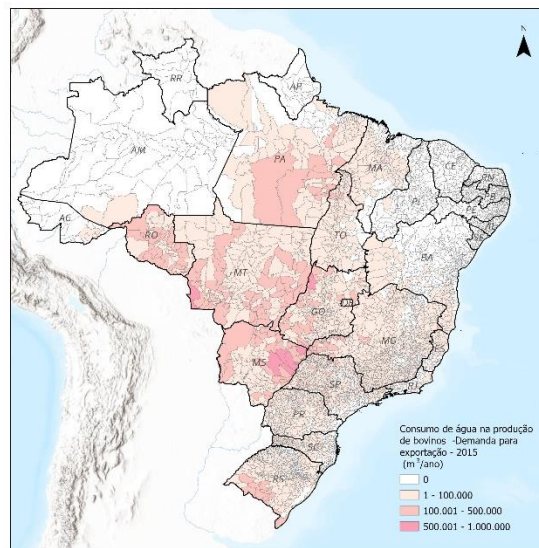
Fonte: Elaboração própria

Os Mapas 7 e 8 apresentam o consumo de água para abastecimento animal por município com destino para demanda interna e para exportação. Do volume total de água exportada na produção de boi, 19% são provenientes do Mato Grosso, 16% do Mato Grosso do Sul e de São Paulo, 13% de Goiás, 9% de Minas Gerais e 7% do Pará.

Mapa 7: Consumo de água na produção de bovinos com destino para consumo doméstico (m³/ano) em 2015



Mapa 8: Consumo de água na produção de bovinos com destino para exportação (m³/ano) em 2015



Fonte: Elaboração própria

Conforme apontado na seção 3.2.2 sobre o estágio de implementação do instrumento da cobrança pelo uso da água, este se encontra em fase de implementação em bacias dos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Pará e Bahia, que por sua vez, concentram elevada demanda de água na produção de commodities. A falta de tal instrumento resulta na conclusão que uma grande parcela ou a integralidade do volume de água captada para produção das commodities agropecuárias não está sendo paga pelo setor agropecuário. A não aplicação da cobrança pelo uso da água sobre o setor agropecuário implica na ausência do reconhecimento do valor econômico da água por parte desse setor, na falta de incentivo ao uso racional e na insuficiência de arrecadação de recursos para garantir a execução de planos de bacia hidrográfica, impossibilitando uma governança das águas efetiva.

4.2. Análise regionalizada da restrição hídrica e do passivo de vegetação em Área de Preservação Permanente: das desvantagens socioambientais

O diagnóstico e o prognóstico do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 (ANA., 2022b) apresentam duas principais pressões sobre a gestão das águas: i) a restrição da oferta hídrica em grandes extensões de trechos de rios com balanço hídrico em estado de criticidade muito alta e alta e/ou com baixa resiliência no índice de segurança hídrica, e; ii) intensidade atual dos usos da água em que as unidades de gestão possuem usos múltiplos intensos em quantidade-diversidade, presença expressiva de polos de irrigação desenvolvidos e/ou parque hidrelétrico atual expressivo com impacto de regras operativas sobre a oferta hídrica e os demais usos da bacia.

Tais fatores de pressão estão diretamente relacionados ao aumento da demanda pelo uso da água e à degradação das bacias hidrográficas. SILVA et al., (2021), no estudo realizado na Bacia do Rio Corrente, localizada na região do MATOPIBA, onde ocorre a elevada demanda de água para fins de irrigação de commodities agropecuárias exportadas, apontam que a diminuição da vazão dos rios pode estar associada a mudanças no uso da terra e às tecnologias de irrigação em larga escala. Tais tecnologias, ainda intensificam os conflitos sociais entre agricultores e comunidades locais, alterando a dinâmica territorial com a migração da população, uma vez que as fazendas com pivôs de irrigação impactam áreas onde comunidades tradicionais e camponeses vivem. No oeste da Bahia, os conflitos sociais

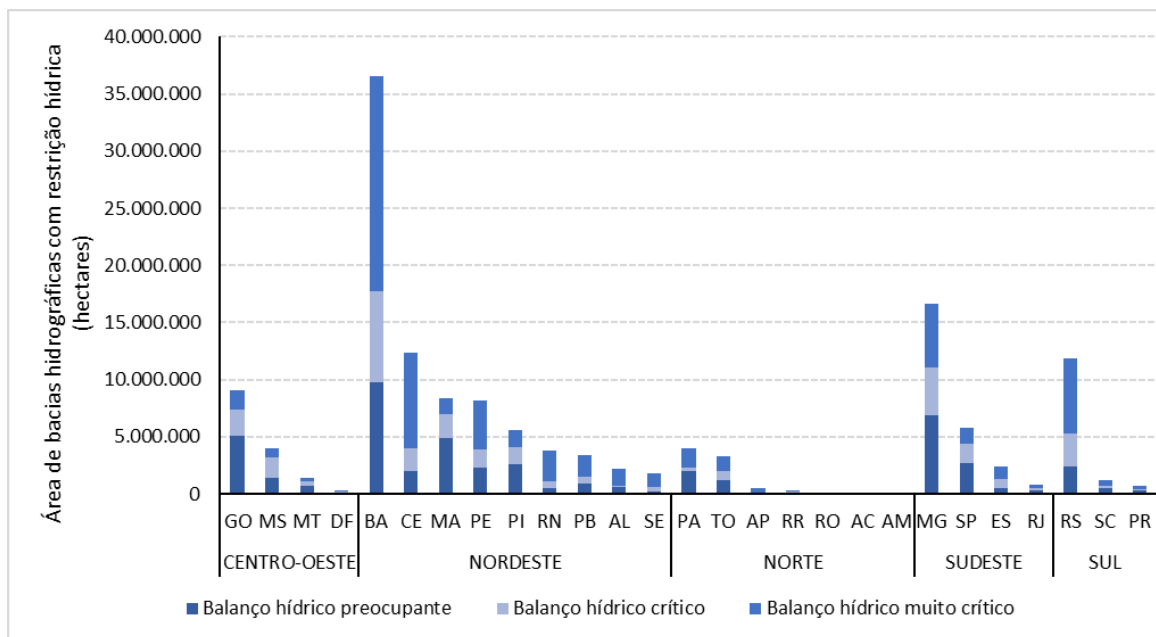
evidenciam o problema atual entre os sistemas agrícolas industriais irrigados e o direito à água.

As fontes dos problemas hídricos locais podem não ser tão locais quanto parecem pois são influenciados por mecanismos globais de comércio, como a disponibilidade de água e a economia mundial que impulsionam a demanda pelo uso da água (VÖRÖSMARTY et al., 2015). Conforme apontado por HOEKSTRA (2008), embora a relevância da demanda hídrica pelo setor agropecuário, há uma ausência de regulação específica nacional e internacional, em especial em termos de precificação para a internalização dos impactos causados pelo comércio internacional sobre a disponibilidade hídrica local.

Conforme a aplicação da metodologia descrita na seção 2.4, estima-se que, de toda abrangência do território nacional, 144,6 milhões hectares de bacias hidrográficas (17%) encontram-se com um balanço hídrico em estado de restrição hídrica, isto é, com classes em estado preocupante, crítico e muito crítico. É importante destacar que, da área total de bacias hidrográficas em situação de restrição hídrica, 63,7 milhões de hectares (44%) encontram-se em situação muito crítica, 48 milhões de hectares (33%) com classe crítica e 32,9 milhões de hectares (23%) com classe preocupante.

O Gráfico 9 apresenta as áreas de bacias hidrográficas por estado em situação de restrição hídrica. O estado com maior área absoluta com bacias hidrográficas em situação de restrição hídrica é a Bahia, com 36,5 milhões de hectares de bacias em situação preocupante, crítica e muito crítica (25% da área total nacional com balanço com restrição hídrica). Após a Bahia, o estado com maior área de restrição hídrica é Minas Gerais, com uma área de 16,7 milhões de hectares (12%), seguido do Ceará com área de 12,4 milhões de hectares (9%) e do Rio Grande do Sul com área de 11,9 milhões de hectares com restrição hídrica (8%).

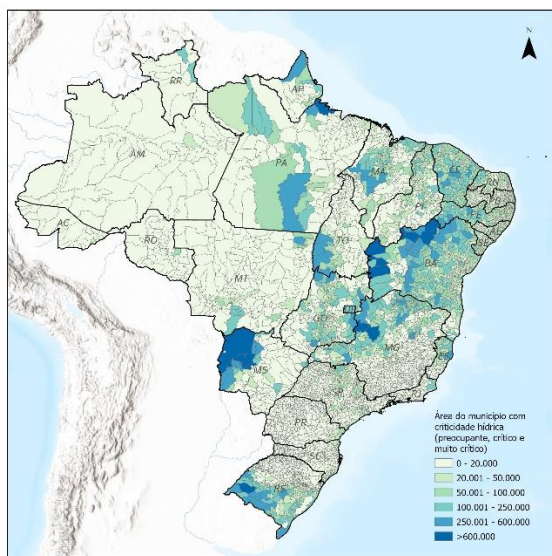
Gráfico 9: Área de bacias hidrográficas com balanço hídrico em estado preocupante, crítico e muito crítico, por estado e região, em hectares.



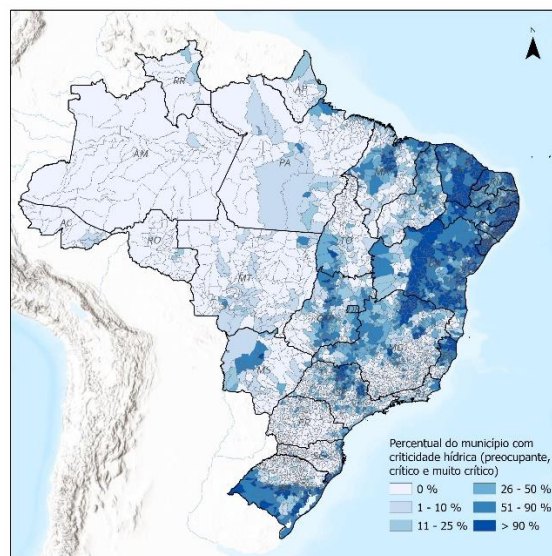
Fonte: Elaborado a partir de ANA (2021)

Os Mapas 9 e 10 apresentam a área e o percentual da área de cada município, respectivamente, com bacias em situação de restrição hídrica. Ao comparar com os mapas que apresentam a demanda hídrica das commodities agropecuárias, observa-se agrupamentos comuns de municípios com presença de produção de commodities e restrição hídrica.

Mapa 9: Área total do município com criticidade hídrica (preocupante, crítico e muito crítico) (hectare)



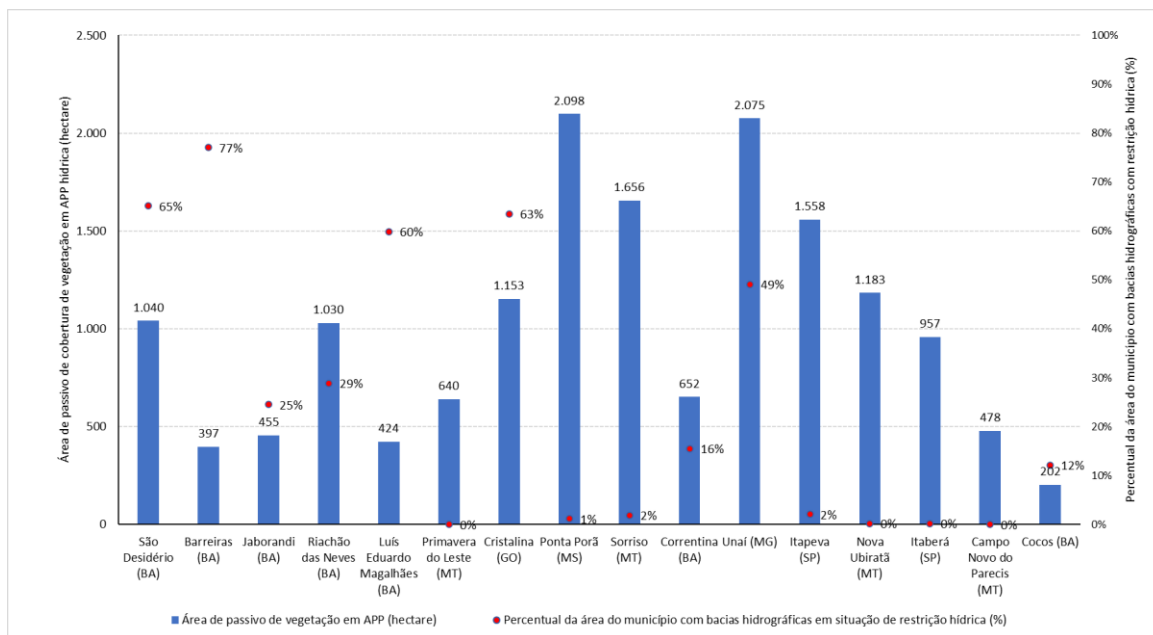
Mapa 10: Percentual da área do município com criticidade hídrica (preocupante, crítico e muito crítico) (%)



Fonte: Elaboração própria

É importante frisar que as condições climáticas, assim como a demanda de água e a gestão da cobertura e uso da terra nas bacias, interferem no balanço hídrico. Considerando que a elevada demanda por irrigação provoca pressão sobre os recursos hídricos, analisou-se o percentual de restrição hídrica e o passivo de APP, nos municípios com as maiores demandas de água para soja, milho e algodão. Conforme apresentado no Gráfico 10, o município de São Desidério (BA), que possui a maior demanda hídrica decorrente da produção de soja, algodão e milho, possui 65% de suas bacias hidrográficas com restrição hídrica e um passivo de APP de 1.040 hectares. Já o município de Barreiras (BA) possui 77% de sua área com restrição hídrica e uma área de passivo de APP de 397 hectares. O município de Cristalina (GO) possui 63% de sua área com restrição hídrica e um passivo de APP de 1.153 hectares. Nesse contexto, além do setor agropecuário ser o principal usuário da água com uma parcela importante do volume destinado às exportações, este também se encontra distribuído em regiões com restrição hídrica e áreas de passivo de vegetação em APP.

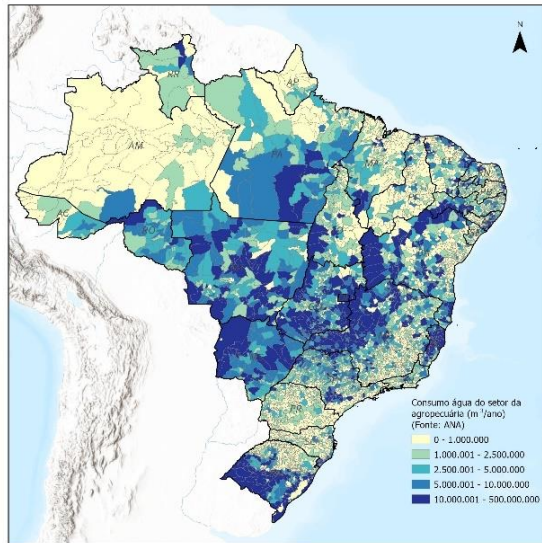
Gráfico 10: Área de passivo de vegetação em APP e percentual do município com restrição hídrica, considerando os municípios com elevada demanda de água por fins de irrigação de soja, milho e algodão.



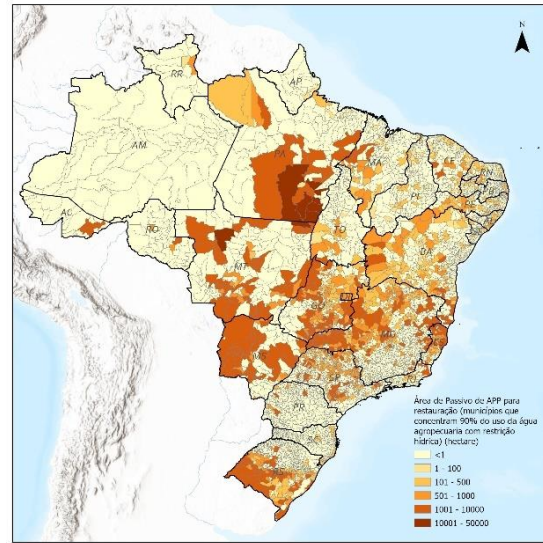
Fonte: Elaboração própria

Conforme a metodologia descrita na seção 2.4, o Mapa 11 apresenta o consumo de água do setor agropecuário nos municípios que representam acumuladamente 90% da demanda total do setor, e o Mapa 12 apresenta a área de passivo de APP nos municípios contemplados pela aplicação dos critérios de priorização, isto é, aqueles com maior demanda hídrica do setor agropecuário e que apresentam bacias com restrição hídrica (criticidade preocupante, crítica e muito crítica).

Mapa 11: Consumo de água do setor agropecuário nos municípios que concentram 90% em 2015 (m³/ano)



Mapa 12: Área de passivo de APP nos municípios em situação de restrição hídrica e que concentram 90% da demanda hídrica agropecuária (hectare)



Fonte: Elaboração própria

A aplicação de tais critérios resultou na seleção de 1.545 municípios e uma área total de 1.040.355 hectares de passivo de APP a ser restaurada, o que representa 45,9% da área total de passivo de APP no país. Face à restrição hídrica nesses municípios com elevada demanda de água pelo setor agropecuário, se mostra fundamental a integração dos instrumentos de gestão de água e floresta passíveis de duas propostas. A primeira consiste na criação de condicionantes no sistema de outorga pelo uso da água com critérios que condicionem a captação de água à restauração do passivo de APP, como forma de incentivar a implementação da LPVN a regularização ambiental das propriedades. A segunda medida, consiste na implementação do instrumento da cobrança pelo uso da água sobre o setor agropecuário para se buscar o reconhecimento do valor econômico da água pelo setor e possibilitar a obtenção de recursos para custear os investimentos em infraestrutura verde.

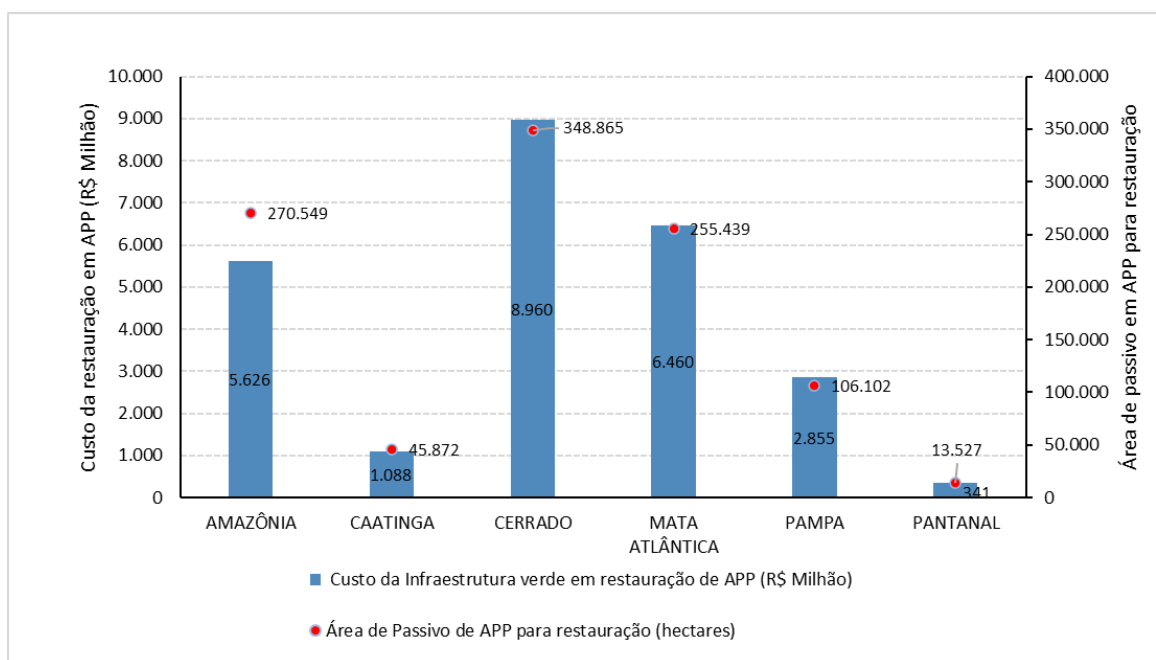
4.3. O custo da infraestrutura verde em municípios com restrição hídrica

De modo a definir o cenário de política de aumento da cobrança pelo uso da água do setor agropecuário para custeio de investimento em infraestrutura verde para reduzir a restrição hídrica de bacias hidrográficas, adotou-se os valores de custo de restauração

apresentados na seção 2.4. Considerando o objetivo político de restauração de uma área total de 1,04 milhão de hectares de APP em municípios com restrição hídrica e que concentram 90% da demanda de água do setor agropecuária, estima-se um custo total R\$ 25,33 bilhões.

Os Gráficos 11 e 12 apresentam a distribuição dos custos de infraestrutura verde por bioma e por estado. Observa-se que, considerando a aplicação dos critérios, tem-se que o bioma com a maior área de infraestrutura verde a ser investida é o Cerrado com área de 348.865 hectares, totalizando um investimento necessário de R\$ 8,96 bilhões, seguido da Mata Atlântica, com área de 255.439 hectares e um investimento de R\$ 6,46 bilhões, e da Amazônia com área estimada em 270.549 hectares e um investimento de R\$ 5,62 bilhões. Para os biomas do Pampa, Caatinga e Pantanal, estima-se um total de investimento de R\$ 2,86 bilhões, R\$ 1,1 bilhão e R\$ 341 milhões, respectivamente.

Gráfico 11: Custo total e área de restauração para infraestrutura verde em APP por bioma, em R\$ Milhão e hectare.

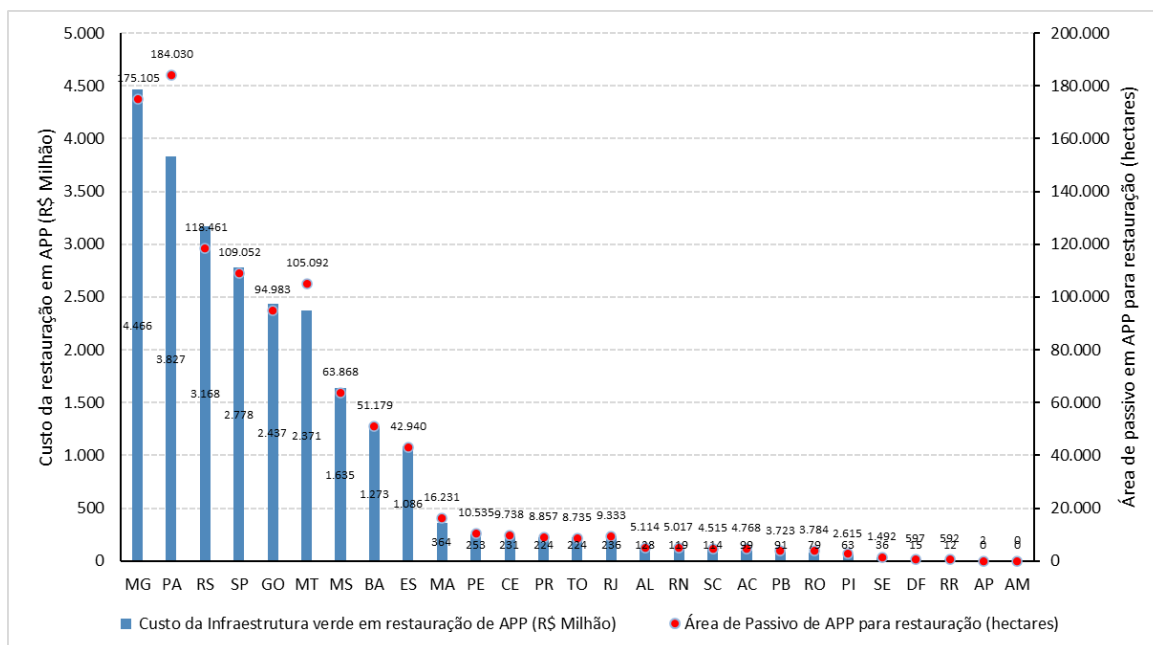


Fonte: Elaboração própria

Conforme mostra o Gráfico 12, dentre os dez estados a serem contemplados pelo investimento em infraestrutura verde para restauração das áreas de passivo de APP estão Minas Gerais com um custo total de R\$ 4,47 bilhões (18% do investimento), seguido do Pará com R\$ 3,83 bilhões (15%), Rio Grande do Sul com 3,17 bilhões (13%), São Paulo com R\$

2,78 bilhões (11%), Goiás com R\$ 2,44 bilhões (10%), Mato Grosso com R\$2,37 bilhões (9%), Mato Grosso do Sul com R\$1,63 bilhão (6%), Bahia com R\$ 1,27 bilhão (5%) e Espírito Santo com R\$ 1,09 bilhão (4%).

Gráfico 12: Custo total e área de restauração para infraestrutura verde em APP por estado, em R\$ Milhão e hectare.



Fonte: Elaboração própria

Considerando que o objetivo dessa análise consistiu em estimar o recurso financeiro desejável para execução da restauração das APP como investimento em infraestrutura verde nas bacias hidrográficas, se utilizará esse parâmetro para avaliação do impacto econômico do aumento da cobrança pelo uso dos recursos hídricos sobre o setor agropecuário.

5. MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL: COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA CONSERVAÇÃO DAS ÁGUAS E BACIAS HIDROGRÁFICAS

O presente capítulo apresenta o modelo de EGC nacional, denominado Cobrança para Conservação das Águas e Bacias Hidrográficas (ConÁgua), que incorpora o uso da água como fator primário de produção e inclui a cobrança como precificação do fator água. A incorporação do fator primário água tem por objetivo possibilitar a análise do impacto da política de aumento da cobrança sobre a dinâmica dos setores econômicos e seus condicionantes, tais como, a produção setorial, o consumo das famílias, as exportações e a demanda de água. Tal análise contribui para atingir os objetivos desta tese na medida em que permite a construção de cenários do impacto econômico de mudanças na cobrança pelo uso da água que viabilize a obtenção de recursos para implementação de restauração das APP como infraestrutura verde para garantir a manutenção das funções hidrológicas de conservação das águas.

Esse capítulo está dividido em seis seções. A primeira seção apresenta a estrutura teórica do modelo. A segunda seção apresenta a construção da base de dados econômica e de uso da água do modelo e os indicadores que originam da relação entre o custo do fator água e o valor adicionado setorial. A terceira seção apresenta os indicadores de preço relativo da água que compõe o modelo ConÁgua. A quarta seção estabelece os choques em dois cenários de política, isto é, um cenário de ampliação da aplicação da cobrança sobre a integralidade do uso água pela economia e outro cenário de aplicação da cobrança sobre o setor agropecuário para o custeio da infraestrutura verde em restauração das APP. A quinta seção apresenta a calibragem do modelo e os parâmetros de elasticidade. A sexta seção apresenta o método de solução e fechamento do modelo.

5.1. Especificação teórica do modelo

O modelo de EGC ConÁgua desenvolvido parte da estrutura teórica do modelo BeGreen (DE CARVALHO, 2022; MAGALHÃES, 2013) e incorpora o fator primário água como elemento adicional e complementar aos demais fatores primários terra, capital e trabalho. Destaca-se que o fator terra se aplica apenas ao setor agropecuário, ao passo que o fator primário água é aplicado a todos os setores econômicos. A partir da incorporação do uso da água como fator primário de produção das atividades econômicas, o modelo ConÁgua

possibilita a inclusão da cobrança e a aplicação de variações decorrentes da precificação pelo uso da água conforme os objetivos de política de gestão das bacias hidrográficas e do uso racional da água. Tendo em vista o estado da arte dos modelos EGC para uso da água no Brasil, o modelo ConÁgua contribui para avanços na literatura e configura-se como um dos primeiros modelos a avaliar o impacto da cobrança na economia brasileira. Composto por 86 setores, conforme apresentado na Tabela 8, o modelo possui um banco de dados com elevado nível de desagregação setorial, possibilitando o tratamento detalhado do uso da água setorial.

Dentre as principais composições do modelo, este considera quatro fatores primários de produção (água, terra, capital e trabalho), quinze componentes da demanda final (onze famílias representativas, consumo do governo, investimento, exportações e estoques), dois setores de margens (comércio e transportes), importações por produto, um agregado de impostos indiretos e um agregado de impostos sobre a produção.

De modo geral, a estrutura central do modelo é composta por blocos de equações que determinam relações de oferta e demanda, derivadas de hipóteses de otimização e condições de equilíbrio de mercado para todos os bens consumidos (domésticos e importados) e os fatores de produção (água, terra, trabalho e capital).

Os preços de compra para cada um dos grupos da demanda intermediária e final (produtores, investidores, famílias, exportadores e governo) são compostos pela soma dos valores básicos, acrescidos de impostos (diretos e indiretos) sobre vendas e das margens. Os impostos sobre vendas são tratados como taxas *ad-valorem* sobre os fluxos básicos. As demandas por margens (transporte e de comércio) são proporcionais aos fluxos de bens aos quais as margens estão relacionadas.

Os setores produtivos minimizam os custos de produção sujeitos a uma tecnologia de retornos constantes de escala em que as combinações de insumos intermediários e composto de fatores primários água, terra, trabalho e capital, são determinados por coeficientes fixos (Leontief) e funções de elasticidade de substituição constante (*Constant Elasticity of Substitution* - CES).

Tabela 8: Setores do modelo ConAgua

1	Arroz, trigo e outros cereais	44	Óleo combustível
2	Milho em grão	45	Diesel - biodiesel
3	Algodão herbáceo, outras fibras da lavoura temporária	46	Outros produtos do refino do petróleo
4	Cana-de-açúcar	47	Etanol e outros biocombustíveis
5	Soja em grão	48	Produtos químicos inorgânicos
6	Laranja	49	Aubos e fertilizantes
7	Café em grão	50	Produtos químicos orgânicos
8	Bovinos e outros animais vivos, produtos animal, caça e serviços	51	Resinas, elastômeros e fibras artificiais e sintéticas
9	Leite de vaca e de outros animais	52	Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários
10	Suínos	53	Produtos químicos diversos
11	Aves e ovos	54	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
12	Carvão mineral	55	Perfumaria, sabões e artigos de limpeza
13	Minerais não metálicos	56	Produtos farmacêuticos
14	Petróleo, gás natural e serviços de apoio	57	Artigos de borracha
15	Minério de ferro	58	Artigos de plástico
16	Minerais metálicos não ferrosos	59	Cimento
17	Carne de bovinos e outros produtos de carne	60	Artefatos de cimento, gesso e semelhantes
18	Carne de suíno	61	Vidros, cerâmicos e outros produtos de minerais não
19	Carne de aves	62	Ferro gusa e ferroligas
20	Pescado industrializado	63	Semi acabados, laminados planos, longos e tubos de aço
21	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	64	Produtos da metalurgia de metais não ferrosos
22	Outros produtos do laticínio	65	Peças fundidas de aço e de metais não ferrosos
23	Açúcar	66	Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos
24	Conservas de frutas, legumes, outros vegetais e sucos de frutas	67	Componentes eletrônicos
25	Café beneficiado	68	Máquinas para escritório e equipamentos de informática
26	Arroz beneficiado e produtos derivados do arroz	69	Material eletrônico e equipamentos de comunicações
27	Produtos derivados do trigo, mandioca ou milho	70	Equipamentos de medida, teste e controle, ópticos e
28	Rações balanceadas para animais	71	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos
29	Outros produtos alimentares	72	Eletrodomésticos
30	Bebidas	73	Tratores e outras máquinas agrícolas
31	Produtos do fumo	74	Máquinas para a extração mineral e a construção
32	Fios e fibras têxteis beneficiadas	75	Outras máquinas e equipamentos mecânicos
33	Tecidos	76	Automóveis, camionetas e utilitários
34	Artigos têxteis de uso doméstico e outros têxteis	77	Caminhões e ônibus, inclusive cabines, carrocerias e
35	Artigos do vestuário e acessórios	78	Peças e acessórios para veículos automotores
36	Calçados e artefatos de couro	79	Aeronaves, embarcações e outros equipamentos de
37	Produtos de madeira, exclusive móveis	80	Móveis
38	Celulose	81	Produtos de industrias diversas
39	Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel	82	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e
40	Serviços de impressão e reprodução	83	Eletricidade, gás e outras utilidades
41	Combustíveis para aviação	84	Energia renovável
42	Gasoálcool	85	Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos
43	Naftas para petroquímica	86	Demais atividades

Fonte: Elaboração própria

O modelo ConAgua é resolvido por métodos de derivadas do tipo Johansen, cuja estrutura matemática é representada por um conjunto de equações linearizadas e as soluções são obtidas na forma de taxas de crescimento (JOHANSEN, 1960) a partir de métodos de derivadas que geram desvios nas variáveis endógenas a partir das mudanças nas variáveis

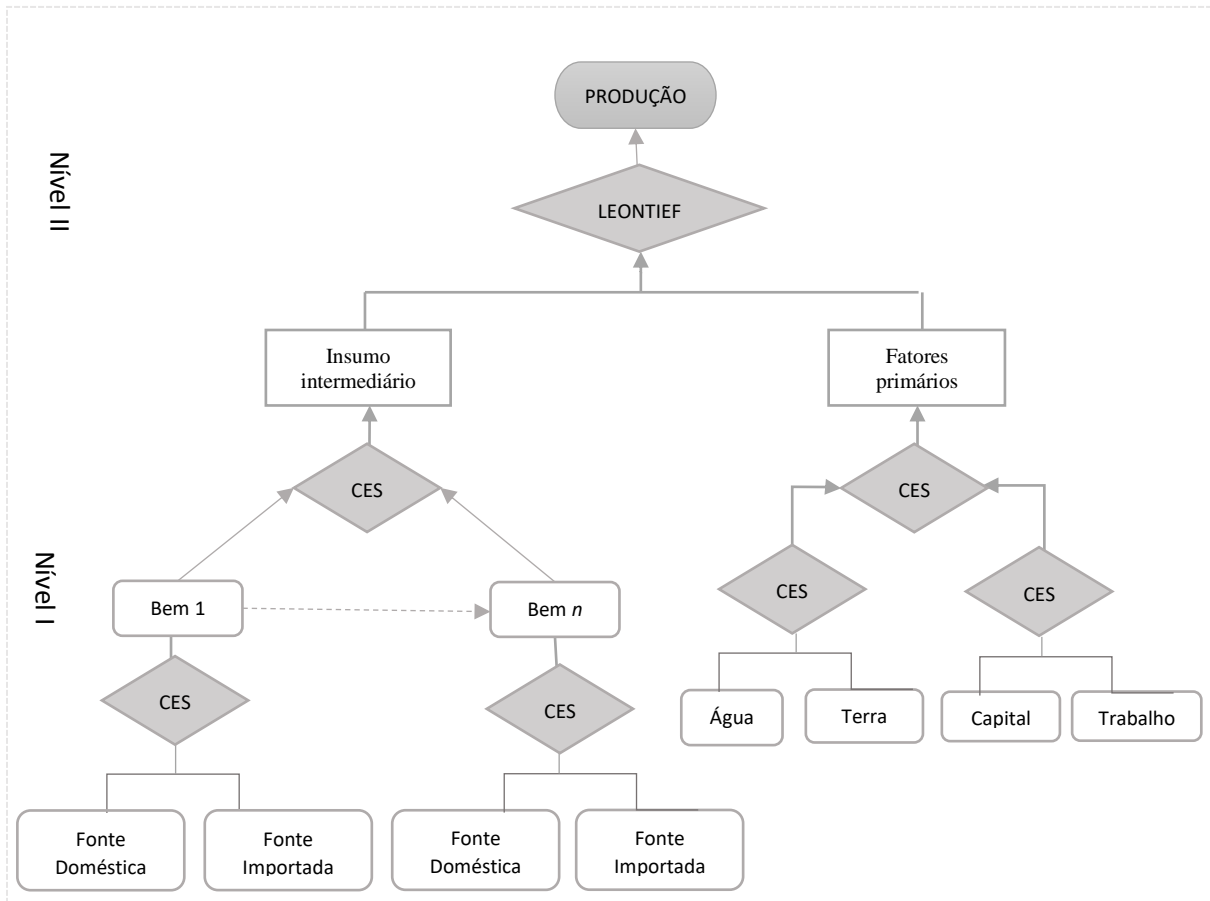
exógenas. Ou seja, quando um choque atinge determinada variável do sistema econômico dita exógena, os agentes (famílias e empresas) ajustam suas escolhas (consumo, produção, alocação de fatores primários) com base nas mudanças de preços relativos.

O modelo possui uma estrutura de dinâmica recursiva, o que possibilita uma análise de longo prazo das respostas às políticas. Estas últimas dependem significativamente das projeções de um cenário base para a economia, envolvendo pressuposições acerca das taxas de crescimento de variáveis como PIB, população, consumo, investimento, para vários anos. A estrutura dinâmica recursiva tem sua especificação baseada na modelagem do comportamento intertemporal e em resultados de períodos anteriores (*backward looking*), cujas condições econômicas correntes são endogenamente dependentes dos períodos posteriores, mas permanecem não afetadas por expectativas de períodos futuros (*forward-looking*). Deste modo, o investimento e o estoque de capital seguem mecanismos de acumulação e de deslocamento intersetorial a partir de regras pré-estabelecidas, associadas à taxa de depreciação e taxas de retorno. Além disso, assume-se um amortecimento das respostas do investimento. O mercado de trabalho também apresenta um elemento de ajuste intertemporal, que envolve três variáveis: salário real, emprego atual e emprego tendencial.

A Figura 7 apresenta a estrutura hierárquica de produção do modelo em dois níveis. No primeiro nível, as firmas escolhem a composição de fatores primários e insumos intermediários em função dos preços relativos e da combinação de diferentes funções CES. No segundo nível, é determinada a tecnologia de produção setorial, através de uma especificação de Leontief, segmentada em dois níveis de otimização, em que as firmas escolhem uma combinação de insumos intermediários e fatores primários que minimiza o custo de produção sujeito a tecnologias de retorno constantes de escala. Nessa determinação, cada setor produz um produto, empregando insumos intermediários de origem doméstica e importada e fatores primários, a saber, trabalho, capital, terra e água. O modelo foi calibrado para o ano 2015, mais recente dado da Matriz de Insumo Produto fornecido pelo Sistema de Contas Nacionais³.

³ O Sistema de Contas Nacionais (SCN) é elaborado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e apresenta informações sobre a geração, a distribuição e o uso da renda no país. Entre elas, as Tabelas de Recursos e Usos (TRU), que mostram os fluxos de oferta e demanda dos bens e serviços e a geração da renda e do emprego em cada atividade econômica. Elas foram utilizadas como insumos no modelo e estão disponíveis

Figura 7: Estrutura hierárquica produtiva do modelo ConÁgua



Fonte: Elaboração própria a partir de (HORRIDGE, 2000)

As representações matemáticas do modelo podem ser acessadas em DE CARVALHO (2022) e MAGALHÃES (2013). Na presente seção serão descritas as equações do modelo relacionados ao uso da água.

5.1.1. Uso de fatores primários e insumos intermediários na função de produção

O modelo incorpora de forma endógena o consumo de água em metro cúbico ($x_1 wtr_i$) por setor i , e exógena o custo total da água ($v_1 wtr_i$) por setor i . O custo total do fator primário

em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html?=&t=resultados>.

Também foram utilizadas informações da Matriz de Insumo-Produto 2015, elaborada a partir das TRU, cujos dados estão disponíveis em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9085-matriz-de-insumo-produto.html?=&t=resultados>.

água é representado pelo produto do preço médio unitário da água por setor i em real por metro cúbico (p_1wtr_i) pelo consumo de água em metro cúbico por setor i (x_1wtr_i), conforme descrito na equação seguinte:

$$v_1wtr_i = x_1wtr_i * p_1wtr_i \quad (11)$$

Essa fórmula é responsável pela transformação do preço da água em custo do fator primário água, que possibilita por sua vez extrair do modelo as variações no consumo de água e na produção que decorrem de variações na precificação da água. Contudo, é fundamental destacar que tais variações decorrem de uma escolha baseada nos preços relativos dos demais fatores primários, como terra, capital e trabalho.

As funções de elasticidades de substituição constante (CES) determinam as equações de demanda por fatores primários, que por sua vez podem ser decompostas em dois efeitos, a saber: efeito substituição, medido pelo desvio da taxa de crescimento do preço dos insumos (p_1lab_i do trabalho, p_1cap_i do capital, p_1lnd_i da terra, p_1wtr_i da água) em relação ao preço ponderado pela participação nos custos de todos os insumos (p_1prim_i) multiplicado pela elasticidade de substituição composta dos fatores primários ($SIGMA_1prim_i$), e; efeito renda, que mede a taxa de crescimento da produção setorial (x_1prim_i).

Apresenta-se a seguir as equações de demanda de cada setor i pelos fatores água (x_1wtr_i), terra (x_1lnd_i), trabalho (x_1lab_i) e capital (x_1cap_i):

$$x_1lab_i = x_1prim_i - SIGMA_1prim_i * [p_1lab_i + a_1lab_i - p_1prim_i] + a_1lab_i \quad (12)$$

$$x_1cap_i = x_1prim_i - SIGMA_1prim_i * [p_1cap_i + a_1cap_i - p_1prim_i] + a_1cap_i \quad (13)$$

$$x_1lnd_i = x_1prim_i - SIGMA_1prim_i * [p_1lnd_i + a_1lnd_i - p_1prim_i] + a_1lnd_i \quad (14)$$

$$x_1wtr_i = x_1prim_i - SIGMA_1wtr * [p_1wtr_i + a_1wtr_i - p_1plw_i] + a_1wtr_i \quad (15)$$

Onde:

x_1prim_i : variação da demanda de fatores primários compostos.

$SIGMA_1prim_i$: elasticidade de substituição dos fatores primários compostos.

$SIGMA_1wtr_i$: elasticidade de substituição água-terra.

p_1prim_i : variação do preço dos fatores primários compostos.

p_1lab_i : preço do fator trabalho.

p_1cap_i : preço do fator capital.

p_1lnd_i : preço do fator terra.

p_1wtr_i : preço do fator água.

p_1plw_i : preço da água aplicado ao setor agropecuário.

a_1lab_i : mudança tecnológica do fator trabalho.

a_1cap_i : mudança tecnológica do fator capital.

a_1lnd_i : mudança tecnológica do fator terra.

a_1wtr_i : mudança tecnológica do fator água.

A equação (11) mostra que a demanda pelo fator água depende da substituição dos fatores água-terra ($SIGMA_1wtr_i$), assim como do preço do fator água e do fator terra aplicado exclusivamente ao setor agropecuário.

As equações de demanda dos insumos intermediários, por sua vez, são determinadas por funções CES cuja tecnologia de produção decorre da adoção da hipótese de Armington⁴ (ARMINGTON, 1969) para a diferenciação de bens de origem doméstica e importada, implicando na hipótese de condições de substituição imperfeita. Dessa forma, considera-se que os bens de origem doméstica e importada são substitutos imperfeitos entre si. Se o parâmetro de elasticidade de substituição assume o valor 1, as demandas comportam-se como uma função Cobb-Douglas hierarquizada, em que mudanças nos preços relativos não alteram a participação nos custos. Se o parâmetro assume o valor zero, as demandas comportam-se como uma função Leontief, em que as proporções das quantidades em relação aos custos são constantes independentemente do preço.

Ao considerar uma função de produção baseada em CES, a taxa de crescimento dos preços de um setor é uma soma ponderada das participações nos custos das taxas de crescimento dos preços dos insumos. A taxa de crescimento da demanda por insumo, linearizada, é dada por:

⁴ Pela hipótese de Armington, os bens de origens diferentes são tratados como substitutos imperfeitos.

$$x(j, i) = \sigma [p(i) - p(j, i)] + y(j), \quad (16)$$

onde $x(j, i)$ é a taxa de crescimento da demanda pelo insumo j usado no setor i , $y(i)$ é a taxa de crescimento do produto no setor, $p(i)$ é a taxa de crescimento do preço do setor i , $p(j, i)$ é a taxa de crescimento do preço do insumo j no setor i .

5.1.2. Demanda das Famílias

O modelo considera onze famílias representativas desagregadas em classes de renda, que consomem bens domésticos e bens importados cuja escolha também realizada por uma especificação CES considerando a hipótese de Armington. As equações derivam de um problema de maximização de utilidade, que segue duas etapas hierarquizadas. No primeiro nível ocorre a substituição CES entre bens domésticos e importados e no segundo nível o tratamento da demanda das famílias é baseado num sistema combinado de preferências CES/Klein-Rubin. Dessa forma, a utilidade derivada do consumo é maximizada segundo essa função de utilidade e obtém-se um Sistema Linear de Gastos (*Linear Expenditure System - LES*⁵), em que a participação do gasto acima do nível de subsistência representa uma proporção constante do gasto total de subsistência familiar para cada bem.

5.1.3. Demanda por Exportações

A demanda externa pelo bem doméstico depende do preço em moeda estrangeira e do fator de deslocamento da função de demanda das exportações. As demandas de exportação são funções decrescentes do preço em moeda estrangeira para exportação, e, usualmente, as variáveis de deslocamento são exógenas. Mantidas exógenas, as variáveis de deslocamento permitem simular os efeitos dos movimentos nas curvas de demanda externa para um bem doméstico ou para todas as commodities. Alternativamente, deslocamentos endógenos da

⁵ O LES é adequado para amplos agregados de bens nos quais substituições específicas não são consideradas. Isto é, elasticidades de preços-cruzados são iguais ao efeito renda dado na equação de Slutsky sem qualquer contribuição dos efeitos de preço-cruzado. Isso implica que todos os bens são complementares fracos. O sistema linear de gastos não permite a inclusão de bens inferiores (i.e., elasticidades renda negativas).

função de demanda das exportações podem ser usados para acomodar previsões exógenas para um determinado mercado exportador ou para as exportações agregadas.

5.1.4. Demanda por Investimento

A composição da demanda por investimentos e criação de capital, responsável pela formação bruta de capital fixo, ocorre através de um processo de minimização de custos sujeito à estrutura de tecnologia hierarquizada dividida em dois níveis. No primeiro nível, ocorre a combinação entre bens de origem doméstica e importada por meio de uma função CES. No segundo nível, a produção de capital do setor é definido por um conjunto de insumos intermediários compostos agregados a partir de uma função tipo Leontief.

Para cada ano da simulação, assume-se que a disposição dos indivíduos em investir é determinada pela taxa de retorno esperada, que por sua vez, determina as taxas de crescimento do capital em cada indústria e, conseqüentemente, o nível de investimento (DIXON; RIMMER, 1998). Adota-se a hipótese que a taxa de crescimento do capital no ano t será maior que a taxa de retorno normal (taxa de crescimento do capital no estado estacionário), quando a taxa de retorno esperada pelos investidores for superior à taxa de retorno normal, uma vez que o crescimento do capital em uma indústria específica no ano t é limitado pelas percepções de risco do investidor.

5.1.5. Demanda do Governo e Estoques

A demanda do governo pode ser definida no fechamento do modelo como endógena ou exógena, e variar em função do consumo privado das famílias ou da arrecadação de impostos. No presente modelo considerou-se a demanda do governo como exógena e adotou-se a premissa que o aumento da arrecadação da cobrança pelo uso da água possibilitou um aumento da demanda do governo.

A demanda por variação de estoques pode ser igualmente exógena e proporcional ao nível de produção do bem. Ao fixar exogenamente as variáveis de deslocamento de variação de estoque por bens, as alterações no volume de mercadorias, doméstico ou importado, destinadas para estoque são as mesmas das variações da produção doméstica das respectivas commodities.

5.1.6. Mercado de Trabalho

O mercado de trabalho, por sua vez, possui um mecanismo de ajuste intertemporal envolvendo as variáveis salário real, emprego atual e emprego tendencial. Nesse mercado, a taxa de desemprego determina o salário real e é determinada pelo nível de atividade econômica. Quando o nível de emprego em $t+1$ exceder em $x\%$ o emprego tendencial (definido exogenamente), o salário real aumentará em $\lambda x\%$. Dada a relação negativa entre emprego e salário real no mercado de trabalho, esse aumento do salário real ajustará o nível de emprego nos períodos seguintes fazendo convergir para o nível tendencial.

5.2. Construção da base de dados do Modelo ConÁgua

O modelo ConÁgua foi calibrado para os dados mais recentes da Matriz Insumo-Produto de Contas Nacionais, para o ano de 2015. Duas principais bases de dados foram desenvolvidas para a construção do modelo ConÁgua. A primeira refere-se à Matriz de Absorção e a segunda refere-se à base de dados de uso da água na economia brasileira estimada considerando o nível de desagregação setorial da base de dados econômica. Essa seção detalha as bases de dados, econômica e de uso da água. É importante destacar que, para o uso da água, optou-se por considerar o dado de *consumo de água*, que por definição, é igual à diferença entre o volume de retirada de água e o volume de lançamento de efluentes pelas atividades. Tal indicador comporta o volume efetivamente internalizado pelas atividades econômicas em seu processo produtivo, por esse motivo, entende-se a relevância da aplicação da cobrança sobre esse indicador de uso.

5.2.1. Matriz de Absorção

A base de dados econômicos do modelo consiste em uma Matriz de Absorção para o ano 2015. A Figura 8 apresenta a estrutura do banco de dados do modelo, em que as dimensões das matrizes são definidas para um conjunto de bens (s) de origem doméstica ou importada (s) consumido como insumo intermediário e/ou produzido pela indústria i , com determinada margem m , conforme apresentando na Tabela 9.

Tabela 9: Principais conjuntos do Modelo ConAgua

Índice	Conjunto	Descrição
s	SRC	Origem doméstica ou importada
c	COM	Bens
m	MAR	Margens (comércio e transporte)
i	IND	Setores

Fonte: Elaboração própria

As matrizes apresentam os valores dos fluxos, assim determinados:

- Valores básicos = preços de produção (para bens produzidos domesticamente), ou preços CIF (importações)
- Valores de entrega = básicos + margens
- Valores de compra = básicos + margens + impostos = entrega + impostos

Os fluxos básicos (e.g, V1BAS) representam demanda a preços básicos (valor de produção) dos bens (“c” em COM), de origem doméstica ou importada (“s” em SRC), pelas 86 indústrias (“i” em IND) e pelos 5 segmentos de demanda final, em que V1BAS é o consumo intermediário - firmas, V2BAS é o investimento ou formação bruta de capital fixo, V3BAS é o consumo das famílias, V4BAS é a demanda de exportações, V5BAS é a demanda do governo e V6BAS é a produção não consumida e destinada aos estoques. Os coeficientes representativos das margens (e.g. V1MAR), que representam a demanda por serviços de comércio e de transporte pelos setores e usuários finais (exceto estoque) e os coeficientes de impostos (e.g. V1TAX), que tratam da soma dos valores de IPI, ICMS e “Outros impostos menos subsídios” para todos os usuários (menos estoque), foram distribuídos por origem (doméstico e importado), a partir das tarifas calculadas sobre o total do valor básico.

Figura 8: Estrutura da base de dados nacional do modelo ConAgua

		Matriz de Absorção					
		1	2	3	4	5	6
		Produtores	Investidores	Famílias	Exportações	Governo	Estoques
Dimensões		I	I	1	1	1	1
Fluxos Básicos	c x s	V1BAS	V2BAS	V3BAS	V4BAS	V5BAS	V6BAS
Margens	c x s x m	V1MAR	V2MAR	V3MAR	V4MAR	V5MAR	n/a
Impostos	c x s	V1TAX	V2TAX	V3TAX	V4TAX	V5TAX	n/a
Trabalhos	1	V1LAB					

Capital	1	V1CAP
Terra	1	V1LND
Água	1	V1WTR
Impostos sobre a Produção	1	V1PTX
Outros Custos	1	V1OCT

	MATRIZ DE PRODUÇÃO	TARIFAS DE IMPORTAÇÃO
Dimensão	I	1
c	MAKE	V0TAR

Fonte: Adaptado (DE CARVALHO, 2022)

Em relação aos fatores primários de produção, a Tabela 10 apresenta os dados de remuneração do fator terra e do custo da água por setor. A remuneração do fator terra (V1LND) dos setores agropecuários foi extraída o Censo Agropecuário de 2017, cujos dados foram agregados entre os setores do ConÁgua e deflacionados para o ano base do modelo (2015), conforme procedimento realizado por Tanure (2020).

A remuneração do fator água (V1WTR), registrado como custo da água, foi obtida a partir do valor arrecadado da cobrança pelo uso da água observado e disponibilizado para o ano de 2015 (ANA, 2015). Conforme apresentado na Tabela 10, o custo total do fator água foi de R\$ 294,8 milhões. Considerando que os valores arrecadados da cobrança são agregados em quatro setores de usuários (agropecuária, indústria de mineração, da indústria de transformação e de abastecimento humano), a partir do custo implícito da água calculado setorialmente, estimou-se os custos setoriais de forma desagregada.

A equação a seguir explicita a fórmula utilizada para desagregação do valor arrecadado da cobrança para o setor da agropecuária. Primeiro calcula-se o custo implícito unitário por metro cúbico (equação 17) e na sequência, a partir do custo implícito marginal para o setor agropecuário, obtém-se o valor estimado desagregado a partir de sua multiplicação pelo uso da água setorial (equação 18):

$$p_1 wtr_{agrop} = \frac{\sum_i v_1 wtr_{i,agrop}}{\sum_i x_1 wtr_{i,agrop}} \quad (17)$$

$$\Leftrightarrow v_1 wtr_{i,agrop} = p_1 wtr_{agrop} * x_1 wtr_{i,agrop} \quad (18)$$

Onde:

$p_1 wtr_{agrop}$: custo implícito marginal do uso da água por metro cúbico do setor agropecuário, em 2015.

$\sum_i v_1 wtr_{i,agrop}$: soma do custo total pelo uso da água pago pelo setor agropecuário observado, em 2015.

$\sum_i x_1 wtr_{i,agrop}$: soma do uso total de água por metro cúbico do setor agropecuário, em 2015.

$v_1 wtr_{i,agrop}$: custo total pelo uso da água pago pela indústria i, do setor agropecuário, em 2015.

Conforme apresentado na Tabela 10, a remuneração do fator terra se aplica exclusivamente ao setor agropecuário e somou R\$ 5,9 bilhões em 2015. Observa-se que o setor de produção de *Soja* é aquele que gera a maior renda do fator terra, concentrando 27,7% dessa remuneração, já o setor de *Outros cultivos temporários e permanentes, produtos florestais e da silvicultura* concentra 21%, seguido do *Milho em grão* 18,2%, e da *Cana-de-açúcar* com 8,3%.

Diferentemente da distribuição da renda do fator terra, os setores de produção de *Soja* e *Milho em grão*, concentram baixa remuneração pelo fator água, representando apenas 0,03% do pagamento pelo uso da água. Dentre os setores com maior custo pelo uso da água está o setor de abastecimento de água, concentrando 70,1% do valor total da cobrança arrecadada, seguido do setor de produção de *Açúcar e etanol e outros combustíveis* que podem estar concentrando 13% e 6,1%, respectivamente, da arrecadação total da cobrança.

Tabela 10: Custo do fator terra e custo do fator água em R\$ milhão e distribuição setorial (%), em 2015

Setores	Renda do Fator Terra (VILND)		Renda do Fator Água (VIWTR)		Setores	Renda do Fator Terra (VILND)		Renda do Fator Água (VIWTR)	
	R\$ Milhão	%	R\$ Milhão	%		R\$ Milhão	%	R\$ Milhão	%
1 Arroz, trigo e outros cereais	365,00	6,14%	1,18	0,40%	44 Naftas para petroquímica	0	0,00%	0,03	0,01%
2 Milho em grão	1079,00	18,16%	0,09	0,03%	45 Óleo combustível	0	0,00%	0,03	0,01%
3 Algodão herbáceo, outras fibras da lavoura temporária	65,00	1,09%	0,1	0,03%	46 Diesel - biodiesel	0	0,00%	0,03	0,01%
4 Cana-de-açúcar	491,00	8,26%	0,39	0,13%	47 Outros produtos do refino do petróleo	0	0,00%	0,31	0,10%
5 Soja em grão	1646,00	27,70%	0,09	0,03%	48 Etanol e outros biocombustíveis	0	0,00%	18,05	6,12%
6 Laranja	33,00	0,55%	0,29	0,10%	49 Produtos químicos inorgânicos	0	0,00%	0,1	0,03%
7 Café em grão	95,00	1,59%	1,1	0,37%	50 Adubos e fertilizantes	0	0,00%	0,2	0,07%
8 Outros cultivos temporários e permanentes, produtos florestais e da silvicultura, pesca e aquicultura	1249,00	21,01%	0	0,00%	51 Produtos químicos orgânicos	0	0,00%	0,54	0,18%
9 Bovinos e outros animais vivos, produtos animal, caça e serviços	66,00	1,11%	0,49	0,17%	52 Resinas, elastômeros e fibras artificiais e sintéticas	0	0,00%	0,24	0,08%
10 Leite de vaca e de outros animais	331,00	5,57%	0,06	0,02%	53 Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários	0	0,00%	0,04	0,01%
11 Suínos	160,00	2,69%	0,02	0,01%	54 Produtos químicos diversos	0	0,00%	0,07	0,02%
12 Aves e ovos	363,00	6,11%	0,02	0,01%	55 Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0	0,00%	0,04	0,01%
13 Carvão mineral	0	0,00%	0,17	0,06%	56 Perfumaria, sabões e artigos de limpeza	0	0,00%	0,21	0,07%
14 Minerais não metálicos	0	0,00%	0,66	0,22%	57 Produtos farmacêuticos	0	0,00%	0,1	0,03%
15 Petróleo, gás natural e serviços de apoio	0	0,00%	4,95	1,68%	58 Artigos de borracha	0	0,00%	0,08	0,03%
16 Minério de ferro	0	0,00%	1,36	0,46%	59 Artigos de plástico	0	0,00%	0,09	0,03%
17 Minerais metálicos não ferrosos	0	0,00%	2,45	0,83%	60 Cimento	0	0,00%	0,39	0,13%
18 Carne de bovinos e outros produtos de carne	0	0,00%	0,31	0,11%	61 Artefatos de cimento, gesso e semelhantes	0	0,00%	0,53	0,18%
19 Carne de suíno	0	0,00%	0,82	0,28%	62 Vidros, cerâmicos e outros produtos de minerais não metálicos	0	0,00%	0,3	0,10%
20 Carne de aves	0	0,00%	0,05	0,02%	63 Ferro gusa e ferroligas	0	0,00%	0,12	0,04%
21 Pescado industrializado	0	0,00%	0,03	0,01%	64 Semi acabados, laminados planos, longos e tubos de aço	0	0,00%	1,41	0,48%
22 Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	0	0,00%	0,08	0,03%	65 Produtos da metalurgia de metais não ferrosos	0	0,00%	0,24	0,08%
23 Outros produtos do laticínio	0	0,00%	0,64	0,22%	66 Peças fundidas de aço e de metais não ferrosos	0	0,00%	0,02	0,01%
24 Açúcar	0	0,00%	38,28	12,99%	67 Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos	0	0,00%	0,47	0,16%
25 Conservas de frutas, legumes, outros vegetais e sucos de frutas	0	0,00%	0,14	0,05%	68 Componentes eletrônicos	0	0,00%	0,04	0,01%
26 Café beneficiado	0	0,00%	0,02	0,01%	69 Máquinas para escritório e equipamentos de informática	0	0,00%	0,01	0,00%
27 Arroz beneficiado e produtos derivados do arroz	0	0,00%	0,03	0,01%	70 Material eletrônico e equipamentos de comunicações	0	0,00%	0,05	0,02%
28 Produtos derivados do trigo, mandioca ou milho	0	0,00%	0,16	0,05%	71 Equipamentos de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos	0	0,00%	0,01	0,00%
29 Rações balanceadas para animais	0	0,00%	0,11	0,04%	72 Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0	0,00%	0	0,00%
30 Outros produtos alimentares	0	0,00%	0,36	0,12%	73 Eletrodomésticos	0	0,00%	0,01	0,00%
31 Bebidas	0	0,00%	2,17	0,74%	74 Tratores e outras máquinas agrícolas	0	0,00%	0,04	0,01%
32 Produtos do fumo	0	0,00%	0,02	0,01%	75 Máquinas para a extração mineral e a construção	0	0,00%	0,04	0,01%
33 Fios e fibras têxteis beneficiadas	0	0,00%	0,27	0,09%	76 Outras máquinas e equipamentos mecânicos	0	0,00%	0,04	0,01%
34 Tecidos	0	0,00%	0,07	0,02%	77 Automóveis, camionetas e utilitários	0	0,00%	0,06	0,02%
35 Artigos têxteis de uso doméstico e outros têxteis	0	0,00%	0,41	0,14%	78 Caminhões e ônibus, inclusive cabines, carrocerias e reboques	0	0,00%	0,01	0,00%
36 Artigos do vestuário e acessórios	0	0,00%	0,52	0,18%	79 Peças e acessórios para veículos automotores	0	0,00%	0,02	0,01%
37 Calçados e artefatos de couro	0	0,00%	0,91	0,31%	80 Aeronaves, embarcações e outros equipamentos de transporte	0	0,00%	0,27	0,09%
38 Produtos de madeira, exclusive móveis	0	0,00%	0,11	0,04%	81 Móveis	0	0,00%	0,04	0,01%
39 Celulose	0	0,00%	1,77	0,60%	82 Produtos de indústrias diversas	0	0,00%	0,2	0,07%
40 Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel	0	0,00%	1,03	0,35%	83 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	0	0,00%	0,05	0,02%
41 Serviços de impressão e reprodução	0	0,00%	0,01	0,00%	84 Eletricidade, gás e outras utilidades	0	0,00%	1,97	0,67%
42 Combustíveis para aviação	0	0,00%	0,03	0,01%	85 Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos	0	0,00%	206,54	70,06%
43 Gasoálcool	0	0,00%	0,03	0,01%	86 Demais atividades	0	0,00%	0	0,00%
Total						5.943,06	100,00%	294,79	100,00%

Fonte: Elaboração própria

5.2.2. Dados das famílias representativas

Um resultado bastante discutido na literatura é a incidência distributiva das políticas sociais. Nesse contexto, o modelo ConAgua especifica onze famílias representativas definidas de acordo com os extratos de renda total e perfis de gastos por unidade familiar a partir de dados da Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) de 2017-2018 (IBGE, 2021c), conforme DE CARVALHO (2022).

As denominações Fam01 a Fam11 representam a desagregação das famílias baseadas em décimos de renda, no qual Fam01 refere-se ao primeiro extrato, isto é, famílias de menor renda, e Fam11 refere-se às famílias na faixa de maior renda. As características das classes de renda no Brasil são apresentadas na Tabela 11 na qual é possível observar que cerca de 67% das famílias brasileiras estão concentradas nas quatro primeiras faixas de renda (até 5 salários mínimos), sendo que estas detêm apenas 22% da renda total.

Tabela 11: Características das classes de renda no Brasil segundo a POF 2017 – 2018

Classes	Faixas salários-mínimos	Unidades de Consumo	%	Renda Total (R\$ Milhão)	%	Renda Monetária <i>Per Capita</i> (R\$)
Fam01	0 – 1	4.029.753	5,8%	3.018	0%	181,63
Fam02	1 – 2	12.707.685	18,4%	21.509	3%	438,78
Fam03	2 – 3	13.079.821	19,0%	41.242	5%	704,41
Fam04	3 – 5	16.204.220	23,5%	106.483	14%	1.011,67
Fam05	5 – 6	4.895.276	7,1%	53.672	7%	1.348,49
Fam06	6 – 8	6.175.983	8,9%	88.386	11%	1.702,32
Fam07	8 – 10	3.333.025	4,8%	63.075	8%	2.273,62
Fam08	10 – 15	4.256.727	6,2%	112.370	15%	3.120,18
Fam09	15 – 20	1.782.091	2,6%	63.923	8%	4.514,29
Fam10	20 – 30	1.399.354	2,0%	75.363	10%	6.703,11
Fam11	> 30	1.153.769	1,7%	142.958	19%	13.506,12
Total		69.017.704	100,0%	772.003	100%	3.227,69

Fonte: (DE CARVALHO, 2022)

Além da definição do grupo de famílias representativas por distribuição de faixas de renda, foi adotada premissa da composição do consumo de cada classe. Para isso, a Tabela

12 retrata a participação do consumo setorial dos diferentes grupos de família, de acordo com o banco de dados do modelo DE CARVALHO (2022).

Tabela 12: Participação dos bens no consumo das famílias, em 2015.

Setores	Consumo das famílias (%)										
	Fam 01	Fam 02	Fam 03	Fam 04	Fam 05	Fam 06	Fam 07	Fam 08	Fam 09	Fam 10	Fam 11
Agropecuária	6,6%	5,8%	4,8%	3,9%	3,3%	2,9%	2,5%	2,4%	2,0%	1,6%	1,1%
Alimentos	22,8%	19,3%	17,1%	15,6%	13,9%	12,2%	11,5%	10,2%	8,7%	7,5%	5,0%
Insumos											
Energéticos	3,8%	3,0%	3,7%	4,1%	4,8%	4,7%	4,9%	4,8%	4,4%	3,9%	2,8%
Eletricidade	4,0%	3,5%	3,0%	2,5%	2,2%	1,9%	1,6%	1,4%	1,1%	1,0%	0,7%
Indústria	18,9%	18,3%	18,0%	17,7%	17,9%	16,8%	16,9%	14,8%	14,2%	15,4%	13,7%
Transportes	3,9%	3,7%	3,8%	4,1%	4,2%	4,3%	4,0%	4,1%	4,0%	4,8%	4,2%
Serviços	40,1%	46,5%	49,7%	52,0%	53,7%	57,2%	58,6%	62,3%	65,6%	65,9%	72,4%
Total	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Fonte: Base de dados do modelo De Carvalho (2022).

5.2.3. Investimento

Para o cálculo do estoque de capital da economia, considerou-se um crescimento econômico anual de 2% a.a. e depreciação de 5% a.a. Com esses dados, foi calculada a taxa bruta de investimento (razão entre valor a preço de mercado do investimento e o estoque de capital). A partir dessa taxa, foi calibrada a tendência comportamental para as indústrias ao longo do tempo e a taxa de depreciação, além da taxa normal bruta de retorno do investimento. Em linhas gerais, o estoque de capital em cada período cresce em proporção à taxa de investimento no início do período menos uma dedução para a depreciação. No modelo dinâmico, como o resultado de cada ano é composto por mudanças entre esse ano e o ano seguinte, a mudança no investimento num determinado período afeta a taxa de crescimento do capital no período seguinte.

5.2.4. Base de dados de uso da água

Conforme a metodologia descrita na seção 2.2, a Tabela 13 apresenta os valores estimados de consumo da água e sua distribuição setorial, considerando o nível de desagregação do modelo ConÁgua, para o ano de 2015. O consumo total de água pela economia brasileira foi estimado em 33.135 hm³, sendo que o setor agropecuário contribuiu

com 25.274 hm³, representando 76,3% do consumo nacional. Do consumo total de água pelo setor agropecuário, 21.403 hm³ do consumo foram destinados à irrigação de cultivos agrícolas (64,6%) e 3.872 hm³ foram destinados à dessedentação animal (11,7%). No setor agrícola, os setores com maior demanda são *Arroz, trigo e outros cereais* representando 23,6% do consumo de água da economia nacional, seguido do *Café em grão* com uma participação de 22% e a *Cana-de-açúcar* com 7,7% e a produção de *Laranja* com 5,9%. O *Algodão herbáceo* representou 1,9% do consumo total de água da economia, a *Soja em grão* representou 1,8%, seguido do *Milho em grão* com 1,7%. Na pecuária, o setor *Bovinos e outros animais vivos, produtos animal, caça e serviços* representou 9,8%, e a produção de *Leite de vaca e de outros animais* contribuiu com 1,2% da demanda de água. Após o setor agropecuário, se destaca na demanda de água o setor *Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos* com um consumo de 3.952 hm³, representando 11,9% da demanda nacional. A soma de todos os setores da indústria de transformação representou 10,2% do consumo de água. Na indústria de transformação, o setor com maior consumo de água foi o de *Açúcar*, representando 5,2% do consumo nacional de água, seguido da produção de *Etanol e outros biocombustíveis* que representou 2,4%. A demanda da indústria extrativa, por sua vez, representou 2,3% do consumo da água.

Tabela 13: Volume do consumo de água setorial e distribuição do uso da água do modelo ConÁgua, em hm³ e percentual, em 2015.

Setores	Consumo de água (XIWTR)		Setores	Consumo de água (XIWTR)	
	hm³	%		hm³	%
1 Arroz, trigo e outros cereais	7.802,67	23,55%	44 Naftas para petroquímica	0,22	0,00%
2 Milho em grão	563,25	1,70%	45 Óleo combustível	0,44	0,00%
3 Algodão herbáceo, outras fibras da lavoura temporária	640,97	1,93%	46 Diesel - biodiesel	3,03	0,01%
4 Cana-de-açúcar	2.555,79	7,71%	47 Outros produtos do refino do petróleo	13,75	0,04%
5 Soja em grão	593,39	1,79%	48 Etanol e outros biocombustíveis	810,87	2,45%
6 Laranja	1.947,51	5,88%	49 Produtos químicos inorgânicos	4,57	0,01%
7 Café em grão	7.298,92	22,03%	50 Adubos e fertilizantes	8,77	0,03%
8 Outros cultivos temporários e permanentes, produtos florestais e da silvicultura, pesca e aquicultura	0,00	0,00%	51 Produtos químicos orgânicos	24,3	0,07%
9 Bovinos e outros animais vivos, produtos animal, caça e serviços	3.255,16	9,82%	52 Resinas, elastômeros e fibras artificiais e sintéticas	10,87	0,03%
10 Leite de vaca e de outros animais	392,98	1,19%	53 Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários	1,64	0,00%
11 Suínos	108,94	0,33%	54 Produtos químicos diversos	3,04	0,01%
12 Aves e ovos	114,89	0,35%	55 Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	1,94	0,01%
13 Carvão mineral	9,61	0,03%	56 Perfumaria, sabões e artigos de limpeza	9,25	0,03%
14 Minerais não metálicos	36,82	0,11%	57 Produtos farmacêuticos	4,41	0,01%
15 Petróleo, gás natural e serviços de apoio	274,47	0,83%	58 Artigos de borracha	3,7	0,01%
16 Minério de ferro	75,21	0,23%	59 Artigos de plástico	4	0,01%
17 Minerais metálicos não ferrosos	135,70	0,41%	60 Cimento	17,38	0,05%
18 Carne de bovinos e outros produtos de carne	14,09	0,04%	61 Artefatos de cimento, gesso e semelhantes	23,78	0,07%
19 Carne de suíno	36,96	0,11%	62 Vidros, cerâmicos e outros produtos de minerais não metálicos	13,3	0,04%
20 Carne de aves	2,06	0,01%	63 Ferro gusa e ferroligas	5,46	0,02%
21 Pescado industrializado	1,51	0,00%	64 Semi acabados, laminados planos, longos e tubos de aço	63,5	0,19%
22 Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	3,45	0,01%	65 Produtos da metalurgia de metais não ferrosos	10,73	0,03%
23 Outros produtos do laticínio	28,72	0,09%	66 Peças fundidas de aço e de metais não ferrosos	0,76	0,00%
24 Açúcar	1.720,24	5,19%	67 Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos	21,11	0,06%
25 Conservas de frutas, legumes, outros vegetais e sucos de frutas	6,11	0,02%	68 Componentes eletrônicos	1,81	0,01%
26 Café beneficiado	0,73	0,00%	69 Máquinas para escritório e equipamentos de informática	0,53	0,00%
27 Arroz beneficiado e produtos derivados do arroz	1,51	0,00%	70 Material eletrônico e equipamentos de comunicações	2,42	0,01%
28 Produtos derivados do trigo, mandioca ou milho	6,98	0,02%	71 Equipamentos de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos	0,43	0,00%
29 Rações balanceadas para animais	5,05	0,02%	72 Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,18	0,00%
30 Outros produtos alimentares	16,04	0,05%	73 Eletrodomésticos	0,35	0,00%
31 Bebidas	97,65	0,29%	74 Tratores e outras máquinas agrícolas	0,88	0,00%
32 Produtos do fumo	0,82	0,00%	75 Máquinas para a extração mineral e a construção	0,73	0,00%
33 Fios e fibras têxteis beneficiadas	12,33	0,04%	76 Outras máquinas e equipamentos mecânicos	3,44	0,01%
34 Tecidos	3,14	0,01%	77 Automóveis, camionetas e utilitários	2,48	0,01%
35 Artigos têxteis de uso doméstico e outros têxteis	18,60	0,06%	78 Caminhões e ônibus, inclusive cabines, carrocerias e reboques	0,57	0,00%
36 Artigos do vestuário e acessórios	23,36	0,07%	79 Peças e acessórios para veículos automotores	1,09	0,00%
37 Calçados e artefatos de couro	40,80	0,12%	80 Aeronaves, embarcações e outros equipamentos de transporte	12,1	0,04%
38 Produtos de madeira, exclusive móveis	5,03	0,02%	81 Móveis	1,83	0,01%
39 Celulose	79,33	0,24%	82 Produtos de indústrias diversas	9,07	0,03%
40 Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel	46,44	0,14%	83 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	2,09	0,01%
41 Serviços de impressão e reprodução	0,26	0,00%	84 Eletricidade, gás e outras utilidades	102,15	0,31%
42 Combustíveis para aviação	0,28	0,00%	85 Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos	3.952,10	12%
43 Gasóilcool	2,20	0,01%	86 Demais atividades	0,00	0,00%
Total				33.135,04	100,00%

Fonte: Elaboração própria

A fim de realizar um teste de verificação dos valores estimados, comparou-se os valores com os dados setoriais agregados de três principais bases de dados da ANA e IBGE, conforme apresentado na Tabela 14 (ANA, 2015, 2019b; IBGE, 2018). Em relação ao valor total de consumo da água da economia em 2015, há uma diferença de -8% do modelo ConAgua em relação a ANA (2019b) que registrou um consumo total 35.971 hm³. Tal diferença decorre principalmente da estimativa de uso da água na agricultura, que no modelo ConAgua foi inferior em -13% em relação a ANA (2019b), que por sua vez, registrou um consumo de 24.506 hm³. Contudo, ao comparar o valor de consumo de água de agricultura irrigada em ANA (2015), a diferença da estimativa da agricultura irrigada do modelo ConAgua apresentou diferença de apenas -0,1%, tendo ANA apresentando um consumo de 21.423 hm³. A comparação com os dados de consumo de água pelo setor da agropecuária publicado nas Contas Econômicas Ambientais da Água (CEA-A) (IBGE, 2018), ao somar ambos os setores da agricultura e pecuária do modelo ConAgua, tem-se uma diferença de -2%. Para o setor da pecuária e da indústria de transformação, os valores estimados do modelo ConAgua apresenta uma diferença de apenas 1% e -1%, respectivamente, em relação aos valores de consumo de água apresentados em ANA (2019b). A indústria de mineração apresentou uma diferença de até 94% em relação à base de dados da ANA (2019) e IBGE (2018), contudo, o setor representa apenas 0,8% da demanda nacional.

Tabela 14: Análise comparativa dos dados de uso da água do modelo ConAgua e outras bases de dados

Setores agregados	Bases de dados						
	ConAgua	Demanda Hídrica por Município 1931 - 2030 -Ano: 2019		ANA - ATLAS Irrigação (ANA, 2015)		CEA-A 2015 - TRUF (IBGE, 2018)	
	Consumo (hm ³)	Consumo (hm ³)	ConAgua/ANA (%)	Consumo (hm ³)	ConAgua/ANA (%)	Consumo (hm ³)	ConAgua/IBGE (%)
Agricultura	21.403	24.506	-13%	21.423	-0,1%	25.775	-2%
Pecuária	3.872	3.828	1%	n.d.	n.d.		
Indústria de mineração	532	274	94%	n.d.	n.d.	276	93%
Indústria de transformação	3.275	3.310	-1%	n.d.	n.d.	3.380	-3%
Termelétrica	101	100	1%	n.d.	n.d.	n.d.	
Abastecimento humano	3.952	3.952	0%	n.d.	n.d.	2.426	63%
Total	33.135	35.971	-8%	n.d.	n.d.	31.857	4%

Fonte: Elaboração própria

Diante de tal teste de verificação, depreende-se que a margem de diferença entre os valores estimados no modelo ConAgua e aqueles das bases de dados da ANA e IBGE, apresentam pequena diferença para os principais setores usuários, sendo -0,1% para agricultura, 1% para pecuária, -1% para a indústria de transformação, o que garante que a calibragem setorial do modelo seja satisfatória.

5.3. Indicadores do preço relativo da água

A partir dos dados da renda do fator água, da renda do fator terra, do valor bruto de produção (VBP) e do valor adicionado (VA) setoriais é possível obter indicadores de custo relativo da água em relação aos demais agregados macroeconômicos. A Tabela 15 apresenta tais relações e indica que o custo da água representa 0,003% do valor bruto de produção e 0,006% do valor adicionado da economia em 2015. Dentre os setores hidroativos, em especial o agrícola, essa participação é igualmente baixa. Observa-se que o setor *Soja* possui um custo relativo da água em relação ao seu valor adicionado de 0,0003%, *Milho* 0,001%, *Algodão* 0,004%, *Cana-de-açúcar* 0,003% e *Café* 0,022%.

Os setores de *Açúcar* e de *Combustíveis para aviação* são os setores que apresentam uma maior relevância do custo da água em relação ao VA, a saber, 0,54% e 1,9%, respectivamente. No setor agrícola, *Arroz, trigo e outros cereais* tem a maior participação do custo da água em relação ao VA, representando 0,034%. O custo do fator água em relação à renda da terra representa 4,96% para a economia. A baixa participação do custo da água sobre o VBP e VA indica uma baixa relevância do custo da água em relação à ordem de grandeza da produção e renda pelas atividades econômicas. Ainda se observa que o custo relativo da água em relação ao custo do fator terra representa 4,96%, ou seja, uma pequena parcela da remuneração pelo uso da terra.

Tabela 15: Preço relativo da água em relação ao valor de produção, valor adicionado e renda da terra, em 2015

Setores	Renda água/VBP (%)	Renda água/VA (%)	Renda água/Renda terra (%)	Setores	Renda água/VBP (%)	Renda água/VA (%)	Renda água/Renda terra (%)
1 Arroz, trigo e outros cereais	0,0110%	0,0340%	0,3230%	44 Naftas para petroquímica	0,000%	0,0000%	0,0000%
2 Milho em grão	0,0003%	0,0010%	0,0080%	45 Óleo combustível	0,0000%	0,0000%	0,0000%
3 Algodão herbáceo, outras fibras da lavoura temporária	0,0010%	0,0040%	0,1500%	46 Diesel - biodiesel	0,0000%	0,0000%	0,0000%
4 Cana-de-açúcar	0,0010%	0,0030%	0,0790%	47 Outros produtos do refino do petróleo	0,0000%	0,0000%	0,0000%
5 Soja em grão	0,0001%	0,0003%	0,0050%	48 Etanol e outros biocombustíveis	0,0000%	0,0000%	0,0000%
6 Laranja	0,0050%	0,0160%	0,8980%	49 Produtos químicos inorgânicos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
7 Café em grão	0,0070%	0,0220%	1,1640%	50 Adubos e fertilizantes	0,0040%	0,0220%	0,0000%
8 Outros cultivos temporários e permanentes, produtos florestais e da silvicultura, pesca e aquicultura	0,0000%	0,0000%	0,0000%	51 Produtos químicos orgânicos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
9 Bovinos e outros animais vivos, produtos animal, caça e serviços	0,0010%	0,0030%	0,7470%	52 Resinas, elastômeros e fibras artificiais e sintéticas	0,0000%	0,0000%	0,0000%
10 Leite de vaca e de outros animais	0,0000%	0,0010%	0,0180%	53 Defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários	0,0000%	0,0000%	0,0000%
11 Suínos	0,0000%	0,0010%	0,0100%	54 Produtos químicos diversos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
12 Aves e ovos	0,0000%	0,0000%	0,0050%	55 Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0,0000%	0,0000%	0,0000%
13 Carvão mineral	0,0130%	0,0310%	0,0000%	56 Perfumaria, sabões e artigos de limpeza	0,0000%	0,0000%	0,0000%
14 Minerais não metálicos	0,0030%	0,0090%	0,0000%	57 Produtos farmacêuticos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
15 Petróleo, gás natural e serviços de apoio	0,0030%	0,0070%	0,0000%	58 Artigos de borracha	0,0010%	0,0030%	0,0000%
16 Minério de ferro	0,0030%	0,0060%	0,0000%	59 Artigos de plástico	0,0000%	0,0000%	0,0000%
17 Minerais metálicos não ferrosos	0,0150%	0,0540%	0,0000%	60 Cimento	0,0070%	0,0250%	0,0000%
18 Carne de bovinos e outros produtos de carne	0,0000%	0,0020%	0,0000%	61 Artefatos de cimento, gesso e semelhantes	0,0000%	0,0000%	0,0000%
19 Carne de suíno	0,0000%	0,0000%	0,0000%	62 Vidros, cerâmicos e outros produtos de minerais não metálicos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
20 Carne de aves	0,0020%	0,0090%	0,0000%	63 Ferro gusa e ferroligas	0,0150%	0,0730%	0,0000%
21 Pescado industrializado	0,0010%	0,0050%	0,0000%	64 Semi acabados, laminados planos, longos e tubos de aço	0,0000%	0,0000%	0,0000%
22 Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	0,0000%	0,0020%	0,0000%	65 Produtos da metalurgia de metais não ferrosos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
23 Outros produtos do laticínio	0,0010%	0,0090%	0,0000%	66 Peças fundidas de aço e de metais não ferrosos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
24 Açúcar	0,1060%	0,5360%	0,0000%	67 Produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos	0,0000%	0,0010%	0,0000%
25 Conservas de frutas, legumes, outros vegetais e sucos de frutas	0,0010%	0,0030%	0,0000%	68 Componentes eletrônicos	0,0010%	0,0060%	0,0000%
26 Café beneficiado	0,0000%	0,0010%	0,0000%	69 Máquinas para escritório e equipamentos de informática	0,0000%	0,0000%	0,0000%
27 Arroz beneficiado e produtos derivados do arroz	0,0000%	0,0010%	0,0000%	70 Material eletrônico e equipamentos de comunicações	0,0000%	0,0010%	0,0000%
28 Produtos derivados do trigo, mandioca ou milho	0,0000%	0,0020%	0,0000%	71 Equipamentos de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
29 Rações balanceadas para animais	0,0000%	0,0020%	0,0000%	72 Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
30 Outros produtos alimentares	0,0000%	0,0010%	0,0000%	73 Eletrodomésticos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
31 Bebidas	0,0030%	0,0100%	0,0000%	74 Tratores e outras máquinas agrícolas	0,0010%	0,0020%	0,0000%
32 Produtos do fumo	0,0000%	0,0000%	0,0000%	75 Máquinas para a extração mineral e a construção	0,0000%	0,0000%	0,0000%
33 Fios e fibras têxteis beneficiadas	0,0110%	0,0420%	0,0000%	76 Outras máquinas e equipamentos mecânicos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
34 Tecidos	0,0000%	0,0000%	0,0000%	77 Automóveis, camionetas e utilitários	0,0000%	0,0010%	0,0000%
35 Artigos têxteis de uso doméstico e outros têxteis	0,0000%	0,0000%	0,0000%	78 Caminhões e ônibus, inclusive cabines, carrocerias e reboques	0,0000%	0,0000%	0,0000%
36 Artigos do vestuário e acessórios	0,0010%	0,0020%	0,0000%	79 Peças e acessórios para veículos automotores	0,0000%	0,0000%	0,0000%
37 Calçados e artefatos de couro	0,0020%	0,0070%	0,0000%	80 Aeronaves, embarcações e outros equipamentos de transporte	0,0010%	0,0020%	0,0000%
38 Produtos de madeira, exclusive móveis	0,0000%	0,0010%	0,0000%	81 Móveis	0,0000%	0,0000%	0,0000%
39 Celulose	0,0130%	0,0470%	0,0000%	82 Produtos de indústrias diversas	0,0010%	0,0020%	0,0000%
40 Papel, papelão, embalagens e artefatos de papel	0,0000%	0,0000%	0,0000%	83 Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	0,0000%	0,0000%	0,0000%
41 Serviços de impressão e reprodução	0,0000%	0,0000%	0,0000%	84 Eletricidade, gás e outras utilidades	0,0100%	0,0680%	0,0000%
42 Combustíveis para aviação	0,1800%	1,8930%	0,0000%	85 Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos	0,3210%	0,5650%	0,0000%
43 Gasóilcool	0,0000%	0,0000%	0,0000%	86 Demais atividades	0,0000%	0,0000%	0,0000%
Total					0,0030%	0,0060%	4,9600%

Fonte: Elaboração própria

5.4. Definição dos choques de política de ampliação da cobrança pelo uso da água

Nesta seção apresentam-se os procedimentos utilizados nas simulações do cenário base e dos cenários de políticas de aumento da cobrança pelo uso da água visando uma ampliação da arrecadação sobre todos os usuários e para viabilizar o investimento em infraestrutura verde.

Anterior à definição das premissas do cenário de política, a elaboração de um cenário base é um componente importante na simulação de um modelo dinâmico. Tal construção possibilita visualizar duas trajetórias para cada variável de interesse. Uma trajetória mostra como a variável iria mudar ao longo do tempo considerando premissas de comportamento de tendência dos principais agregados macroeconômicos, e sem considerar o cenário que se deseja estudar, isto é, o impacto da política de aumento da precificação pelo uso da água. Em seguida, a partir dos choques estabelecidos para os cenários de política, obtém-se a trajetória de como as variáveis se comportariam com a política em vigor em relação ao cenário base. A diferença entre estas trajetórias, cenário base e o cenário com o choque de política, representará o efeito adicional da incorporação do custo do fator água sobre a economia. As variáveis endógenas se ajustam ao longo do período da análise após os choques iniciais, tanto no cenário base (ou cenário de referência) quanto no cenário de política, indicando diferenças percentuais acumuladas que representam o impacto dos choques nas simulações.

5.4.1. Cenário base

O cenário base deve refletir as mudanças projetadas na economia brasileira ao longo do período de estudo (2015 a 2050). Para a construção do cenário base, foram adotadas estimativas em termos de variações percentuais, para o PIB real, exportações, consumo das famílias, investimento, consumo do governo e exportações, conforme apresentado na Tabela 16, a partir de dados observados de 2016 a 2020 da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua trimestral (IBGE), das Contas Nacionais Trimestrais (IBGE) e

projeções baseadas em estimativas do Banco Central do Brasil para o período 2022-2030 (BCB, 2020).

Os dados da exportação setorial foram obtidos do sistema de consulta Comex Stat (BRASIL, 2021). O cenário para a economia brasileira está ancorado no crescimento médio do PIB de 2,2% ao ano de 2021 a 2050 e os gastos do governo respeitam o teto de gastos impostos pela Emenda Constitucional nº 95 de 2016 (BRASIL, 2016). A premissa do crescimento da demanda hídrica foi de 2,3% ao ano, aplicada uniformemente entre os setores econômicos, com base nas projeções do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019b).

Tabela 16: Principais variáveis do cenário macroeconômico de linha de base (var. % real)

Indicadores	2016	2017	2018	2019	2020	2021-2050
PIB a preços de mercado	-3,3	1,3	1,8	1,4	-4,1	2,2
Consumo das famílias	-3,8	2	2,4	2,2	-5,5	-
Gastos do Governo	0,2	-0,7	0,8	-0,4	-4,7	0
Investimento	-12,1	-2,6	5,2	3,4	-0,8	-
Exportação	0,9	4,9	4,1	-2,4	-1,8	-
Importação (-)	-10,3	6,7	7,7	1,1	-10,0	-
Emprego	-2,1	2,1	1,1	2,0	-12,1	1
População	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1
Consumo de água						2,3

Fonte: Elaboração própria com base em dados do IBGE e (ANA, 2019b).

5.4.2. Cenário de Política ConÁgua 1: Ampliação da aplicação da cobrança para a integralidade dos usuários

Conforme já apresentado, a cobrança pelo uso da água é definida a partir do parâmetro Preço Público Unitário (PPU), que por sua vez é aplicado sobre a vazão de retirada, consumo de água, e lançamento de efluentes. A cobrança é usualmente aplicada onde há comitês de bacia hidrográfica instituídos e planos de gestão de bacias hidrográficas estruturados. Logo, uma vez que diversos estados e bacias hidrográficas no país ainda não possuem instituídos seus comitês e elaborados seus planos de bacia, a cobrança permanece um instrumento econômico de gestão dos recursos hídricos ainda não implementado para uma grande parcela do consumo de água pela economia.

Nesse contexto, visando o reconhecimento da água como um recurso dotado de valor econômico e a adoção do instrumento que possa garantir a geração de recursos para a gestão das bacias hidrográficas, o cenário de política de ampliação da cobrança (ConÁgua1) adotou a premissa da aplicação da cobrança sobre a integralidade do consumo pelas atividades econômicas, a partir de um choque de aumento no custo implícito da água.

Para tal, a definição dos percentuais do choque desse cenário foi realizada em três etapas. A primeira etapa consistiu em considerar o custo implícito da água pago pelas atividades econômicas a partir da arrecadação da cobrança observada em 2015, incorporada na base de dados do modelo. A segunda etapa considerou o preço público médio praticado pelas bacias hidrográficas que aplicam a cobrança como valor médio a ser aplicado para a integralidade do uso da água pelas atividades econômicas e as quantidades de uso estimado setorialmente para o ano 2015. A terceira etapa, por sua vez, determinou o percentual do choque a ser aplicado sobre custo implícito efetivamente pago para se atingir o preço público unitário médio.

A Tabela 17 apresenta as estimativas do custo implícito da água, que representa a razão entre o valor total arrecadado e a vazão de consumo total da economia. Observa-se que o custo implícito médio da água para toda economia é de R\$ 0,0089/m³. Contudo, esse custo varia entre os usuários. O setor da Agropecuária é aquele com maior vazão de consumo e o que absorve o menor custo unitário médio pelo consumo de água, a saber, R\$ 0,0002/m³. A indústria absorve um custo implícito também inferior ao setor de Saneamento, da ordem de R\$ 0,022/m³.

Tabela 17: Arrecadação observada e custo implícito da água em 2015 (R\$/m³)

Setores Usuários da Água	Vazão de consumo em 2015 (hm ³)	Arrecadação observada em 2015 (R\$)	Custo implícito da água em 2015 (R\$/m ³)
Saneamento	3.952,1	206.541.681,8	0,0523
Indústria e outros	3.274,5	72.872.680,9	0,0223
Agropecuária	25.274,5	3.818.527,9	0,0002
Mineração	522,2	9.581.043,8	0,0183
Termoelétrica	101,4	1.972.826,2	0,0194
Total	33.124,7	294.786.760,8	0,0089

Fonte: Elaboração própria

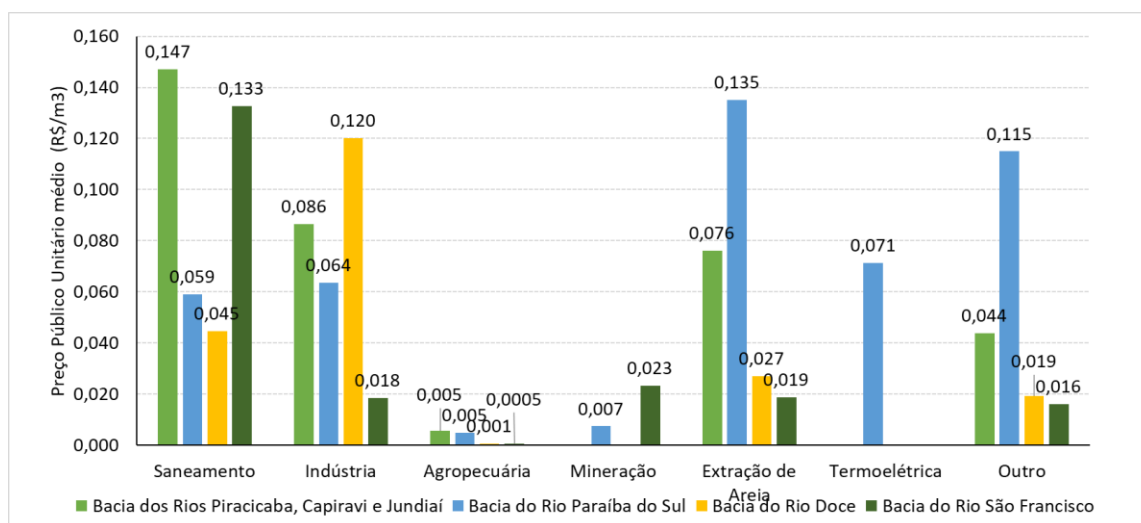
Para obtenção do PPU médio de uso⁶ praticado sobre a vazão de consumo de água por setor usuário, considerou-se os dados das quatro bacias hidrográficas federais, a saber, bacia do rio PCJ, bacia do Rio Paraíba do Sul, bacia do rio Doce e bacia do rio São Francisco. A partir do valor total arrecadado por setor e das vazões de consumo com aplicação da cobrança por setor, calculou-se o PPU médio por usuário em cada uma das bacias para o ano 2015 (ANA, 2015), conforme apresentado na Tabela 18 e ilustrado no Gráfico 13.

Tabela 18: Preço Público Unitário médio pelo uso da água nas Bacias Hidrográficas Federais (R\$/m³)

Setores usuários	Bacia dos Rios Piracicaba, Capiravi e Jundiá	Bacia do Rio Paraíba do Sul	Bacia do Rio Doce	Bacia do Rio São Francisco	PPU Médio
Saneamento	R\$ 0,147	R\$ 0,059	R\$ 0,045	R\$ 0,133	R\$ 0,10
Indústria	R\$ 0,086	R\$ 0,064	R\$ 0,120	R\$ 0,018	R\$ 0,07
Agropecuária	R\$ 0,005	R\$ 0,005	R\$ 0,001	R\$ 0,0005	R\$ 0,003
Mineração	R\$ 0,000	R\$ 0,007	R\$ 0,000	R\$ 0,023	R\$ 0,02
Extração de Areia	R\$ 0,076	R\$ 0,135	R\$ 0,027	R\$ 0,019	R\$ 0,06
Termoelétrica	R\$ 0,000	R\$ 0,071	R\$ 0,000	R\$ 0,000	R\$ 0,07
Outro	R\$ 0,044	R\$ 0,115	R\$ 0,019	R\$ 0,016	R\$ 0,05

Fonte: Elaboração própria a partir de ANA (2015)

Gráfico 13: Preço Público Unitário médio pelo uso da água por setor usuário e bacias hidrográficas, R\$/m³, para o ano de 2015



Fonte: Elaboração própria

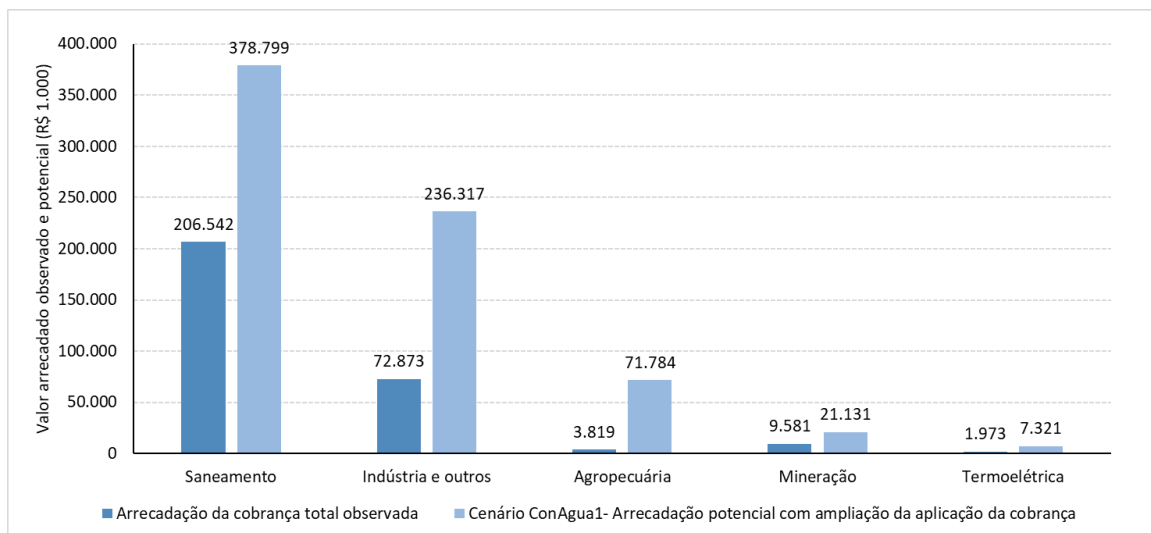
⁶ Ao referirmo-nos em Preço Público Unitário médio de uso da água estamos considerando um preço público médio que absorve os valores praticados de PPU de captação, consumo e lançamento de efluentes.

Ao comparar o custo implícito da água estimado com o PPU médio, observa-se que o primeiro é inferior ao segundo, o que se dá em decorrência de uma parcela dos usuários não pagarem pela captação e consumo de água. Isto é, a totalidade da vazão de consumo de água atualmente paga é inferior à vazão total de consumo da economia. Tais dados apontam que o custo implícito da água pago pelo setor Agropecuário é 94,7% menor que o PPU médio aplicado para o setor. Já a Indústria possui um custo implícito da água menor em 69,2% comparativamente ao PPU médio aplicado sobre o setor. O Saneamento, por sua vez, tem um custo implícito de 45,5% menor que o PPU médio. Nesse contexto, o primeiro choque foi definido de modo a propor que o PPU médio de consumo da água fosse aplicado para a integralidade do consumo de água, ou seja, o preço da água se eleva de 2021 a 2040 de forma a atingir o valor final em 2040.

Considerando que a arrecadação em 2015 foi de R\$ 294,8 milhões, se o PPU fosse aplicado sobre a integralidade do consumo de água setorial da economia, a arrecadação atingiria R\$ 702,4 milhões, isto é 132% acima do arrecadado em 2015. A partir dessa constatação, o Cenário ConÁgua 1 tem por objetivo analisar o impacto econômico da elevação da precificação da água aplicada sobre a integralidade do consumo pelos usuários.

Para o setor Agropecuário, considerando o custo implícito e o PPU médio de consumo do setor agropecuário de R\$ 0,003/m³, se aplica um choque percentual acumulado de 1.780% para esse setor, representando um aumento potencial da arrecadação observada de R\$ 3,8 milhões para R\$71,8 milhões. Para o setor da Mineração, considerando o custo implícito de R\$ 0,018 e um PPU médio de R\$0,04/m³ se aplica um choque de 121%, o que representaria um incremento na arrecadação de R\$ 21 milhões. Já com o PPU médio de consumo do setor Indústria de R\$ 0,07/m³, se teria um aumento percentual do custo implícito de 224% para esse setor, isto é, um incremento potencial da arrecadação observada de R\$ 72,9 milhões para R\$ 236,3 milhões. Para o setor de Saneamento ocorreria um aumento de 83%, resultando em um incremento potencial da arrecadação de R\$ 206,5 milhões para R\$ 378,8 milhões. O Gráfico 14 apresenta o valor arrecadado observado e potencial considerando o Cenário ConÁgua 1.

Gráfico 14: Valor arrecadado observado e potencial com aplicação do Cenário ConÁgua 1 (R\$ 1.000)



Fonte: Elaboração própria

5.4.3. Cenário de Política ConÁgua 2: Aplicação da cobrança para custeio de investimento em infraestrutura hídrica em restauração de APP

O principal objetivo do instrumento da cobrança pelo uso da água definido pela PNRH consiste em obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos planos de recursos hídricos. Dentre as macrodiretrizes previstas no Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040 (ANA, 2022b) está o incentivo ao pagamento por serviços ambientais com recursos oriundos da cobrança pelo uso dos recursos hídricos para a conservação da vegetação nativa em áreas críticas e manutenção das intervenções de conservação de água e solo.

Conforme metodologia de definição de priorização de municípios para restauração das APP e do custo da restauração, apresentada nas seções 2.3 e 2.4, considerou-se a aplicação dos critérios para restauração de uma área de 1,04 milhão de hectares de passivo de APP, o que representa 45,9% da área total de passivo de APP no país. Com base nos custos unitários por hectare por bioma, estimou-se um custo total para restauração do passivo nas APP em R\$ 25,33 bilhões, valor este utilizado de arrecadação desejada no cenário de política ConÁgua 2 de 2021 a 2040. Para se chegar a esse montante acumulado de arrecadação, se

aplicou um choque sobre a precificação da água sobre setor agropecuário de 55,27% ao ano, ao longo de 20 anos.

Embora não haja a classificação de investimento em infraestrutura verde, considerou-se que a renda arrecadada com o incremento da cobrança pelo uso da água sobre o setor agropecuário seja utilizada para custeio dos investimentos em restauração de APP pelo governo, sendo ela revertida em consumo de bens e serviços do governo. Para tal, com base no incremento de arrecadação com o fator água, aplicou-se o choque sobre o gasto do governo, da ordem de 0,11% ao ano.

5.5. Calibragem e parâmetros de elasticidade

A calibragem do modelo determina os parâmetros do comportamento dos agentes econômicos, o que exige dados complementares extraídos da literatura. Os parâmetros que se configuram como os mais relevantes para o funcionamento do modelo são as elasticidades de substituição de fatores primários, elasticidade de substituição dos bens intermediários (de origem doméstica ou importada) e exportação.

Em relação à elasticidade água-terra, não se tem na literatura valores estimados. Logo, para o cenário ConÁgua 1 realizou-se cinco simulações considerando os valores de elasticidade de substituição, 0,05, 0,25, 0,5, 0,75 e 0,95, de modo a avaliar o comportamento dos ajustes setoriais em cada simulação. O objetivo em analisar os efeitos sob as diferentes elasticidades consiste em compreender como a possibilidade de substituição de uso da água afeta os resultados da simulação.

Para o cenário ConÁgua 2, adotou-se a técnica de análise de sensibilidade sistemática (Systematic Sensitivity Analysis-SSA) do Gempack (DOMINGUES; HADDAD, 2005), em que é adotado um intervalo para o parâmetro de elasticidade variando de 0,025 a 0,975, e obtido um resultado médio. O objetivo de aplicar tal técnica consiste na obtenção de uma solução única a partir de uma distribuição uniforme dos impactos de cada elasticidade.

Além da elasticidade água-terra, os demais parâmetros utilizados nas simulações com o modelo ConÁgua foram extraídos da literatura, conforme apresentado na Tabela 19.

Tabela 19: Parâmetros de elasticidades no modelo ConÁgua

Parâmetro	Dimensão	Descrição	Valor	Fonte
SIGMA1PRI M	IND	Elasticidade de substituição dos fatores primários	0,28 a 1,55	Domingues <i>et al</i> , (2009)
SIGMA1LAB	IND	Elasticidade de substituição do trabalho	0,02	Domingues <i>et al</i> , (2009)
SIGMA1 WTR	IND	Elasticidade de substituição da água	0,05 a 0,75	
SIGMA1ARM	COM	Elasticidade de Armington para bens intermediários	0 a 13,7	Kume e Piani (2011)
SIGMA2ARM	COM	Elasticidade de Armington para bens de investimento	0 a 13,7	Kume e Piani (2011)
SIGMA3ARM	COM	Elasticidade de Armington para demanda das famílias	0 a 13,7	Kume e Piani (2011)
FRISCH	1	Parâmetro de Frisch	-1,94	Almeida (2011)
EPS	COM	Elasticidade de gastos das famílias	0,02 a 1,33	Hoffmann (2010)
EXP_ELAST	COM	Elasticidade de substituição entre domésticos e importados	0,38 a 2,07	Domingues <i>et al</i> , (2009)
SIGMA1OUT	IND	Elasticidade de transformação CET	0,5	
EXP_ELAST_ NT	IND	Elasticidade de demanda por exportações	1,0	
DPRC	IND	Taxa de Depreciação	3,40%	
QRATIO	IND	Razão investimento/capital (máxima/tendência)	4	
ALPHA	IND	Elasticidade do investimento	4,8	Perobelli (2004)
EMPRAT	1	razão emprego/tendência em estado estacionário	1	
ELASTWAG E	1	Elasticidade do salário real em relação ao emprego	0,66	Gonzaga e Corseuil (2001)
RNORMAL	IND	Taxa de retorno normal bruta	12,50%	
GRETEXP	IND	Taxa Bruta de Retorno Esperada	12,50%	
GROTREND	IND	Razão investimento/capital (tendência)	6% a 9%	
SLND	1	Elasticidade de Oferta da Terra	0,5	

Fonte: Elaboração própria

5.6. Método de solução e fechamento do modelo

Os resultados das simulações realizadas foram obtidos usando o software de modelagem Gempack (HORRIDGE; ET AL., 2018). O modelo é resolvido recursivamente, ano a ano, cujos dados do cenário base são atualizados pela simulação do ano anterior e subsequentemente. O cenário de política é similar ao cenário base, exceto que há a inclusão

dos choques da política a partir da aplicação de variações exógenas em variáveis específicas, como o aumento do preço médio da água aplicado sobre o setor agropecuário.

A determinação dos choques, ou seja, o percentual de variação a ser aplicado sobre as variáveis exógenas, são o ponto de partida para os cenários de política. A solução cumulativa determina o caminho da solução e os coeficientes são atualizados a partir dos dados na solução cumulativa em cada etapa. As contribuições dos choques exógenos são registradas e acumuladas, permitindo analisar os efeitos dos choques implementados em cada variável endógena do modelo. Cada simulação produz uma sequência de mudanças ano a ano em todas as variáveis do modelo e cumulativamente no período analisado.

O método de solução empregado foi o Gragg com 2, 4 e 6 etapas, em que são geradas 3 soluções com 2, 4 e 6 etapas, respectivamente. Tal método consiste em uma variação do método de Euler, que busca produzir resultados mais precisos para um determinado número de etapas. No procedimento de solução de Euler, o choque exógeno é dividido em um número de componentes iguais (etapas), cujos resultados de cada parcela são utilizados para calcular os resultados da etapa seguinte, aumentando, assim, a precisão dos resultados de acordo com a quantidade de etapas. Esses métodos surgem como alternativa para reduzir erros de linearização possibilitando encontrar uma solução mais precisa.

Além do método de solução do modelo EGC, também são especificados os fechamentos das variáveis em cada cenário, isto é, a determinação de quais variáveis são endógenas e que sofrerão alterações em resposta aos choques na recursividade do modelo, e aquelas que são exógenas e não sofrerão alterações de impacto. Para a composição das simulações em dinâmica recursiva são utilizados dois tipos de fechamento: o fechamento base e o fechamento de política. A Tabela 20 define as variáveis exógenas comuns a todos os cenários, conforme se apresentam no código computacional do modelo no *software* Gempack.

Nos cenários de política, há duas alterações em relação ao fechamento base. A primeira é que a variável de consumo de água, $xlwtr$, torna-se endógena e a variável de preço da água, $plwtr$, torna-se exógena. Essas mudanças tornam possível estabelecer exogenamente o aumento da precificação da água, logo, da arrecadação da cobrança, em termos de variação percentual, que por sua vez irá gerar os efeitos econômicos setoriais e de uso da água nas variáveis endógenas do modelo.

Tabela 20: Hipóteses de variáveis exógenas no fechamento do modelo

PIB real (lado da oferta)	
rnorm	Taxa de retorno bruta
gtrend	Taxa bruta de retorno setorial tendencial
emptrend	Emprego tendencial
a1cap a1lab_o a1lnd a1tot a2tot a0com a1 a1nren a1ren	Mudanças tecnológicas
PIB real (lado do gasto)	
x3toth	Gasto agregado no consumo privado real por família
x2tot_i	Gasto agregado no investimento real
x4	Demanda por exportações
x5tot	Gasto agregado no consumo real do governo
f5	Distribuição das demandas do governo
Condições externas: preços das importações fixos; curvas de demanda por exportações fixas no preço e quantidade	
pf0cif	Preços externos das importações
f4p f4q	Deslocamento das Exportações setoriais
Todos os impostos são exógenos	
delPTXRATE f0tax_s f1tax_csi f2tax_csi f3tax_cs f5tax_cs t0imp f4tax_trad f4tax_ntrad f1oct deltax deltax1all deltax2all deltax3all deltax5	
Distribuição do investimento entre os setores	
finv1(setores selecionados)	Investimento relacionado a lucros
Número de famílias e preferências no consumo são exógenas	
q	Número de famílias
a3_s	Preferências das famílias por bens
Uso da água	
x1wtr	Uso de água

Fonte: Elaboração própria.

6. SIMULAÇÕES DO MODELO CONAGUA: UMA ANÁLISE DO IMPACTO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA PARA CONSERVAÇÃO DAS ÁGUAS

O objetivo deste capítulo é apresentar os impactos econômicos das políticas de ampliação da cobrança pelo uso da água visando um aumento da arrecadação para fins de gestão das bacias hidrográficas e custeio de investimento em infraestrutura verde. Como apresentado, dois cenários de ampliação da aplicação da cobrança pelo uso da água foram simulados. O primeiro cenário de política, ConAgua 1, considerou o fato de uma parcela do uso da água pela economia não ser paga pela integralidade de usuários, o que causa uma baixa arrecadação e um custo implícito pelo uso da água abaixo do preço público da água usualmente definido pelos comitês de bacia hidrográfica que aplicam a cobrança no país. Nesse contexto, o primeiro cenário simulou o impacto econômico de uma política de ampliação da aplicação da cobrança sobre o uso integral da água, mantendo-se o preço público unitário médio constante, conforme aplicado pelos CBH.

O segundo cenário de política simulada, ConAgua 2, considerou a premissa de se atingir o objetivo de uma arrecadação desejada para garantir o custeio de investimentos em restauração de passivo de vegetação nas APP em municípios com bacias em situação de restrição hídrica e elevada demanda de água pelo setor agropecuário. Tal política, encontra-se alinhada aos objetivos de arrecadação para implementação de mecanismos de PSA para viabilizar a restauração da vegetação nativa em APP e o cumprimento da LPVN, conforme previsto no PNRH 2022-2040 e debatido na seção 3.3.

As mudanças nos preços relativos, decorrentes do aumento da precificação da água, induzem ajustamentos nas quantidades de uso da água como fator primário, gerando modificações no uso setorial de água, da terra e demais fatores primários. O modelo produz estas mudanças ao considerar a possibilidade de substituição entre os fatores primários água e terra, e destes por capital e trabalho. Ademais, em decorrência do aumento do pagamento pela água, o modelo projeta os efeitos de variação da cobrança sobre os agregados macroeconômicos e todos os setores e agentes, isto é, famílias, governo, atividades econômicas, dentre outros.

O capítulo está organizado em duas seções. Na primeira seção são apresentados os resultados referentes ao cenário ConAgua 1 e na segunda seção analisa-se os resultados do cenário ConAgua 2. Em cada seção, são apresentados os resultados do impacto sobre

agregados macroeconômicos (PIB, investimento, exportações, consumo das famílias e uso da água), em seguida, apresentam-se os impactos setoriais, e por fim, os resultados dos efeitos sobre o consumo das famílias por faixa de renda.

6.1. Resultados da Política ConÁgua 1: Ampliação da aplicação da cobrança sobre a integralidade dos usuários

6.1.1. Impacto nos agregados macroeconômicos do Cenário ConÁgua 1

Para a análise do impacto econômico do Cenário ConÁgua 1 foram realizadas cinco simulações da variação do preço pelo uso da água considerando diferentes níveis de elasticidade de substituição água-terra, a saber, 0,05; 0,25; 0,50; 0,75 e 0,95. A simulação com diferentes elasticidades visa estimar o impacto econômico da variação da precificação pelo uso da água conforme a capacidade do setor produtivo agropecuário em substituir o fator primário água para irrigação e dessedentação animal pelo fator terra. Conforme já mencionado, entende-se que tal substituição se mostra coerente uma vez que, casos de escassez hídrica em determinadas regiões podem resultar na expansão da produção agropecuária em áreas de maior disponibilidade hídrica e menor risco climático. Nos setores não-agropecuários, mudanças na elasticidade de substituição água-terra não interferem no resultado, e portanto, se aplica as elasticidades substituição terra-água e capital-trabalho de 0,5.

Os resultados macroeconômicos apresentados na Tabela 21, mostram que, no caso do cenário de política com ampliação da aplicação da cobrança na integralidade do consumo de água nacional, quanto maior a elasticidade de substituição, menor seria o impacto negativo sobre os agregados macroeconômicos. Considerando os choques de aplicação do preço unitário médio da água sobre a integralidade do consumo de água, com uma elasticidade de 0,05, se produziria um desvio percentual acumulado em relação ao cenário base do PIB de -0,017%, entre 2022 e 2050, e, no caso de uma elasticidade de 0,95, se teria uma queda de -0,015% ou seja, uma diferença de 0,002 pontos percentuais. O baixo impacto da variação da precificação da água sobre o PIB decorre do fato que atualmente a cobrança pelo uso da água representa um baixo custo em relação ao valor de produção das atividades econômicas, conforme apresentado na Tabela 15.

Dentre os agregados macroeconômicos, aquele que apresentou o maior desvio percentual acumulado em relação ao cenário base foram as exportações, que apresentam uma queda acumulada de -0,041% e -0,031%, para as elasticidades de 0,05 e 0,95, respectivamente, em relação ao cenário base. Tal resultado indica que as exportações são o componente do PIB com maior sensibilidade em relação ao preço da água, principalmente pela composição da pauta exportadora ser concentrada em produtos primários agropecuários intensivos em água.

Após as exportações, o salário real apresentou um desvio percentual acumulado em relação ao cenário base de quase igual proporção que a queda das exportações, a saber, -0,035% e -0,030% para as elasticidades de 0,05 e 0,95, respectivamente, entre 2022 e 2050.

O consumo doméstico absorveria um desvio percentual acumulado em relação ao cenário base superior à variação do PIB, ou seja, entre -0,019% e -0,016% para as elasticidades de 0,05 e 0,95, respectivamente, e o investimento teria uma redução de -0,011% ou -0,010%, com pouca diferença a depender da elasticidade.

O agregado macroeconômico com menor impacto são as importações, que apresentam um desvio percentual acumulado de -0,008% no caso de uma elasticidade de 0,05 e -0,003% no caso de uma elasticidade de 0,95. Portanto, tal resultado aponta que, na perspectiva de uma análise macroeconômica agregada, não ocorreria substituição de bens de domésticos por importados, sendo a queda por importados decorrer predominantemente da queda de produção setorial

Tabela 21: Desvio percentual acumulado dos agregados macroeconômicos do Cenário ConÁgua 1, de 2022 a 2050, por nível de elasticidade água-terra, em relação ao Cenário Base

Variáveis	Elasticidade água-terra				
	0,05	0,25	0,50	0,75	0,95
PIB Real	-0,017	-0,016	-0,015	-0,015	-0,015
Consumo doméstico	-0,019	-0,018	-0,017	-0,016	-0,016
Investimento agregado	-0,011	-0,011	-0,010	-0,011	-0,010
Índice de volume de exportação	-0,041	-0,036	-0,033	-0,031	-0,031
Índice de volume de importação	-0,008	-0,006	-0,004	-0,004	-0,003
Uso de capital	-0,019	-0,018	-0,017	-0,017	-0,016
Uso do fator terra	-0,011	-0,008	-0,007	-0,007	-0,007
Consumo de água em volume	-0,762	-1,932	-2,235	-2,037	-1,798
Salário real	-0,035	-0,033	-0,031	-0,031	-0,030
Índice de preço do consumidor	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009
Renda nominal do fator terra	-0,102	-0,086	-0,078	-0,078	-0,079
Renda nominal do fator água	142,653	134,740	129,202	126,318	125,015
Índice de custo de fatores primários	-0,016	-0,014	-0,013	-0,012	-0,012

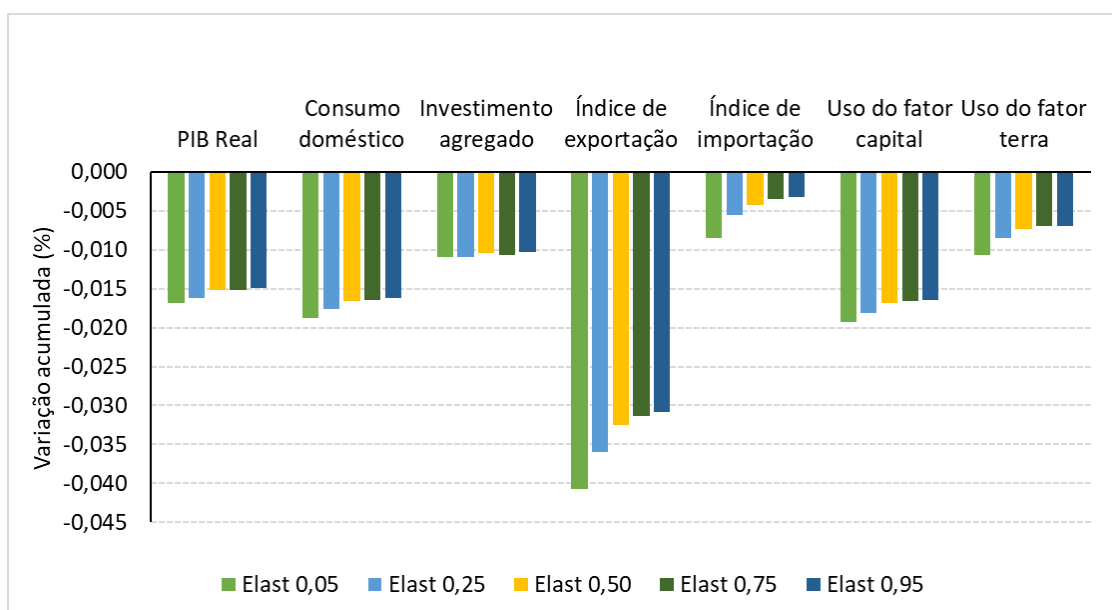
Fonte: Elaboração própria

O uso do fator terra apresenta por sua vez um desvio percentual acumulado de -0,011% no caso de elasticidade de 0,05 e -0,007% com elasticidade de 0,95, e a renda nominal do fator terra, por sua vez, também apresenta um desvio menor quanto maior a elasticidade de substituição, isto é, de -0,10% no caso de elasticidade de 0,05 e -0,08%, com elasticidade 0,95. Tal projeção indica que quanto maior a capacidade de substituição do fator água por terra, diante de um aumento do preço relativo da água em relação à terra, menor será o impacto negativo sobre a renda do fator terra.

Adicionalmente, como previsto nas premissas do cenário ConÁgua 1, a renda nominal do fator água teria um desvio acumulado positivo da ordem de 142,65% no caso de elasticidade 0,05 e 125,01% no caso de uma elasticidade de 0,95, em relação ao cenário base.

O Gráfico 15 apresenta as diferentes variações acumuladas de 2022 a 2050 dos agregados macroeconômicos por grau de elasticidade, em relação ao cenário base, possibilitando visualizar que quanto maior a elasticidade de substituição água-terra, menor seria o impacto econômico negativo nos diversos agregados, como o PIB, as exportações e o consumo doméstico.

Gráfico 15: Desvio percentual acumulado dos agregados macroeconômicos do Cenário ConÁgua 1, de 2022 a 2050, por nível de elasticidade água-terra, em relação ao Cenário Base



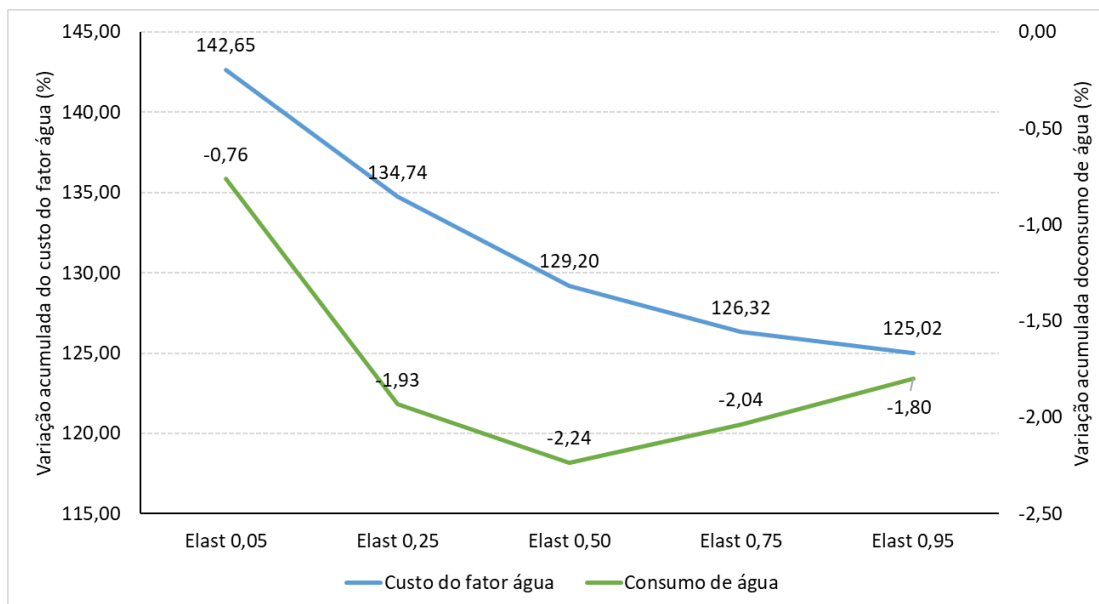
Fonte: Elaboração própria

6.1.2. Impacto no uso da água do Cenário ConÁgua 1

Dentre os objetivos da aplicação da cobrança pelo uso da água consiste em incentivar o usuário a investir em tecnologias para uso racional para redução da demanda pelo uso da água. Nesse contexto, avaliar os efeitos do aumento da cobrança sobre o uso da água mostra-se uma análise relevante e orientadora para a política. O Gráfico 16 apresenta os desvios percentuais acumulados, em relação ao cenário base, do custo do fator água e do consumo de água, ambos agregados para a economia. Observa-se que, o desvio percentual acumulado do custo da água varia de 125% a 142,6%, para as elasticidades 0,95 e 0,05, respectivamente, o que mostra que o custo da água é inversamente proporcional à elasticidade, ou seja, quanto maior a capacidade de substituição de água por terra, menor será o impacto do custo do fator água.

Em relação ao consumo de água, os resultados dos efeitos do cenário ConÁgua 1, apontam que a maior queda acumulada do consumo de água em relação ao cenário base poderia atingir -2,24%, e se daria com uma elasticidade de substituição de 0,5, ou seja, intermediária, ao passo que o menor desvio acumulado seria de -0,76% e ocorreria no caso de uma elasticidade 0,05. Tal resultado aponta para o fato que a baixa elasticidade de substituição não garante uma queda do uso da água significativa, dado o menor grau de capacidade de substituição do fator água. Por outro lado, a maior possibilidade de substituição implica na demanda por novas terras produtivas e um aumento de uso da água.

Gráfico 16: Desvio percentual acumulado do volume de água e do preço relativo de água do Cenário ConÁgua 1, de 2022 a 2050, em relação ao Cenário Base



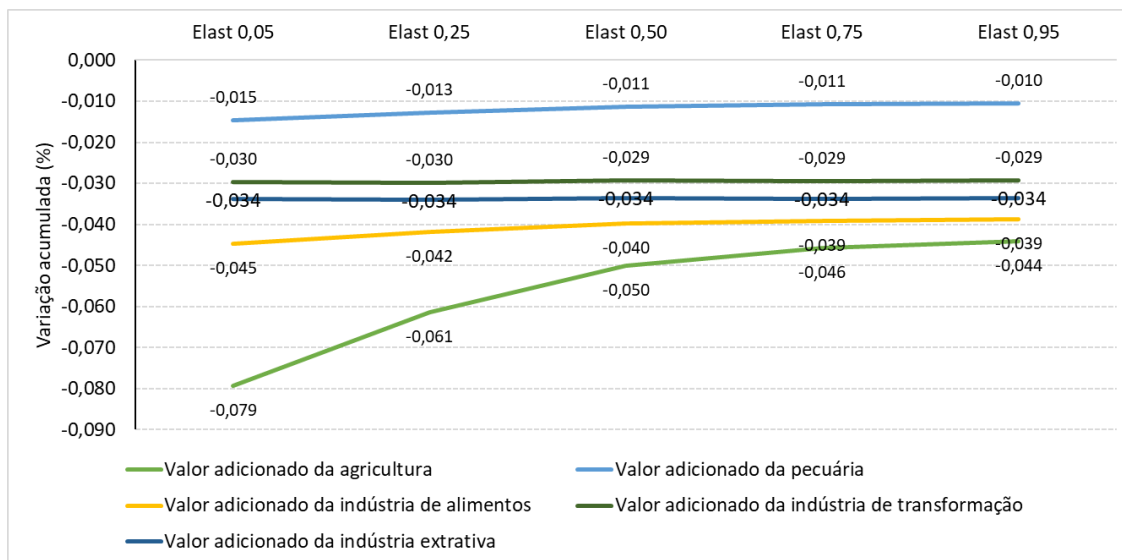
Fonte: Elaboração própria

6.1.3. Impacto setorial econômico do Cenário ConÁgua 1

A análise dos efeitos setoriais da política ConÁgua 1 possibilita indicar quais setores serão mais e menos afetados e que, portanto, poderiam interferir nos resultados de variação do PIB. O Gráfico 17 apresenta os resultados do desvio percentual acumulado do valor adicionado para os grandes setores de usuários da água, isto é, a agricultura, pecuária, indústria extrativa, indústria da transformação e a indústria de alimentos. Ao analisar os resultados, observa-se que, embora os desvios ainda apresentem um impacto de baixa magnitude, os setores da agricultura e da indústria de alimentos apresentam variações negativas superiores à variação do PIB (-0,017% com elasticidade de 0,05). O setor agrícola, como esperado, é aquele com maior variabilidade por nível de elasticidade de substituição. Observa-se uma maior queda acumulada em relação ao cenário base, de -0,08% com uma elasticidade de 0,05 e de -0,04% com elasticidade de 0,95. Em seguida, o setor da indústria de alimentos teria uma queda de -0,045% e -0,039% no caso de elasticidades de 0,05 e 0,95, respectivamente. O setor da pecuária é aquele com a menor queda, em torno de 0,01%.

indústrias extrativa e da transformação apresentariam um desvio acumulado em torno de 0,03%.

Gráfico 17: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do Valor Adicionado do Cenário ConÁgua 1 por atividade setorial, em relação ao Cenário Base

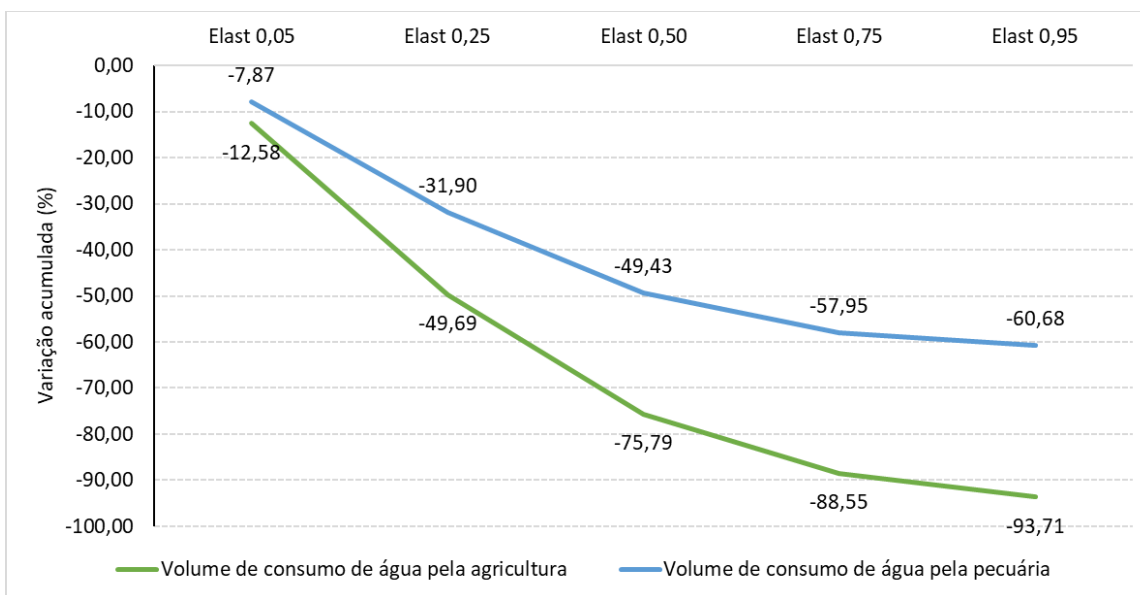


Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 18 apresenta os desvios percentuais acumulados de consumo de água para aos setores da agricultura e pecuária e o Gráfico 19 apresenta para os setores da indústria extrativa, indústria de alimentos e de transformação. Uma análise comparativa entre os setores possibilita observar a relevância do impacto da política ConÁgua 1 na redução do consumo de água para os setores primários agrícola e pecuária. Considerando uma elasticidade de substituição água-terra de 0,5, a redução do consumo de água poderia chegar a -75,79% e -49,43% para agricultura e pecuária (Gráfico 18), respectivamente, ao passo que para os setores da indústria de alimentos, de transformação e extrativa, o desvio percentual acumulado do consumo de água representaria apenas -0,99%, -0,21% e -0,04%, respectivamente (Gráfico 19). Considerando que os setores da agricultura e da pecuária são hidroativos, a queda potencial do volume de uso da água seria significativa para a economia. Tais efeitos indicam que o objetivo político de uma redução da demanda de água da economia torna indispensável a ampliação da aplicação da cobrança pelo uso da água nos setores da agricultura e da pecuária dado que estes são mais sensíveis ao custo relativo do fator água, e portanto, mais propensos ao uso racional da água.

Ademais, cabe também observar a grande variabilidade da redução do consumo de água a depender da elasticidade de substituição dos fatores água-terra. Quanto maior a capacidade de substituição, maior seria a queda acumulada do uso da água, podendo chegar a -93,71% para a agricultura e -60,68% para a pecuária, com uma elasticidade de 0,95.

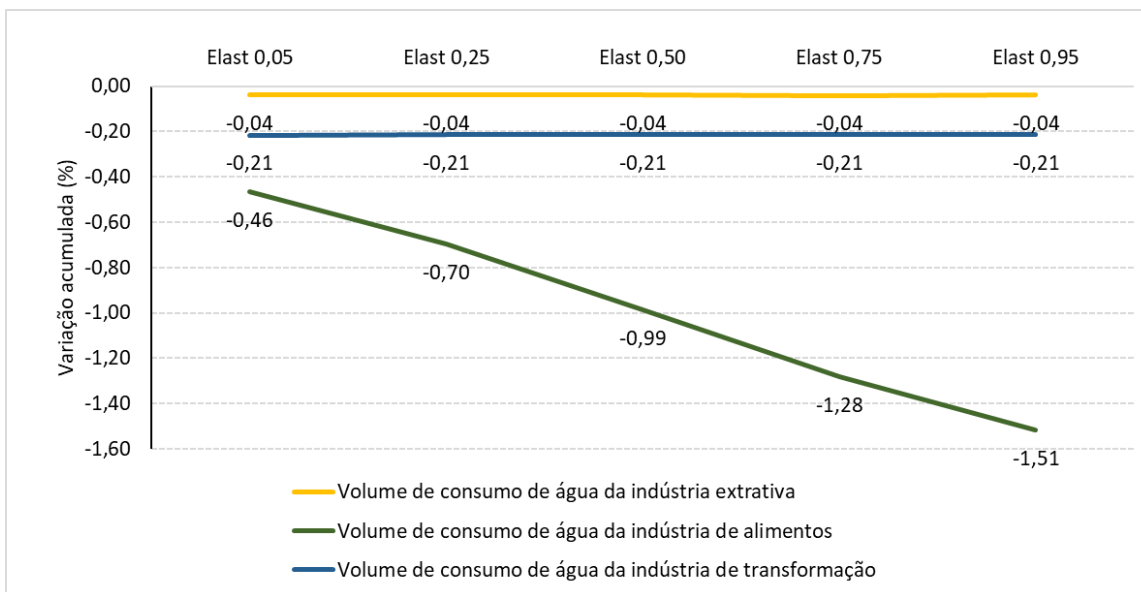
Gráfico 18: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do uso de água pela agricultura e pecuária do Cenário ConÁgua 1, em relação ao Cenário Base



Fonte: Elaboração própria

Ademais, vale observar, no Gráfico 19, a sensibilidade do setor da indústria de alimentos em relação à elasticidade de substituição dos fatores água-terra. Uma vez que este setor depende de insumos primários da agricultura e pecuária, as variações no consumo de água igualmente dependem do nível de elasticidade. Ou seja, observa-se que esta última poderia atingir um desvio percentual acumulado do consumo de água de -0,46% e -1,51%, no caso de elasticidade de 0,05 e 0,95, respectivamente, ou seja, diferença de 1,05 pontos percentuais. Já as demais indústrias de transformação não teriam desvios acumulados distintos por nível de elasticidade, permanecendo com uma redução média acumulada de -0,21%. Tais resultados indicam que o setor de alimentos é mais sensível ao custo da água, o que poderá resultar em implicações sobre o consumo das famílias.

Gráfico 19: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do uso de água da indústria de mineração, indústria de alimentos e da indústria de transformação no Cenário ConÁgua 1, em relação ao Cenário Base



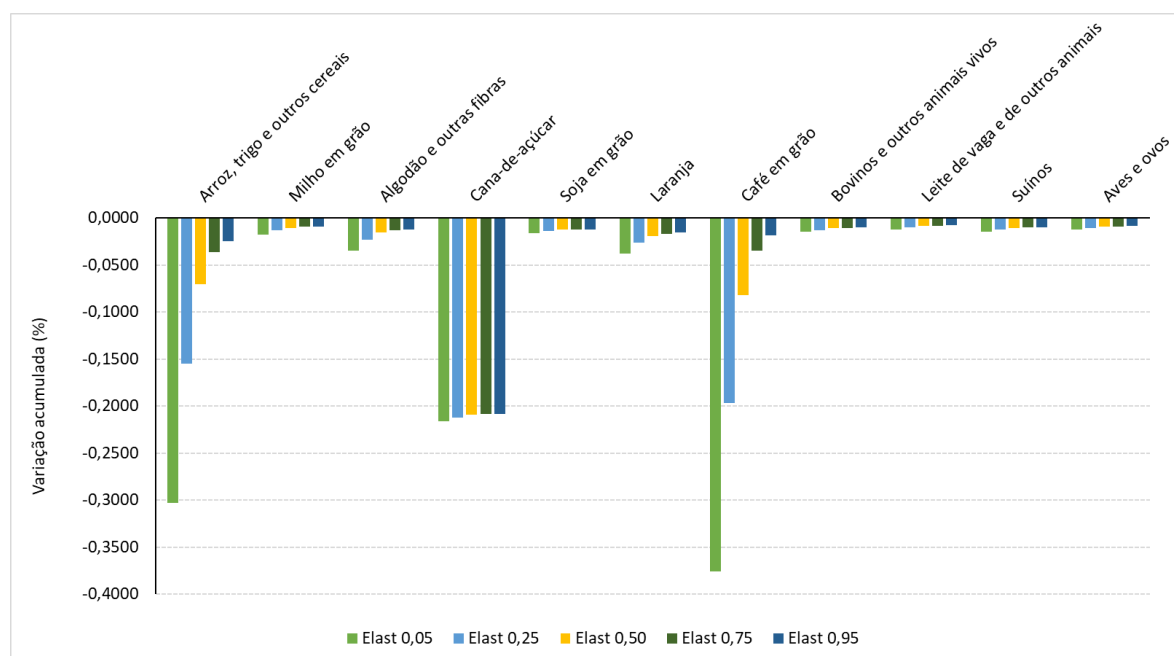
Fonte: Elaboração própria

Os Gráficos 20 e 21 apresentam os desvios percentuais acumulados do valor adicionado dos setores de forma desagregada, de 2022 a 2050, em relação ao cenário base. Observa-se no Gráfico 20 que as atividades que apresentam maior variação acumulada de valor adicionado são *café em grão*, a produção de *arroz*, *trigo e outros cereais* e de *cana-de-açúcar*. No caso de uma elasticidade de 0,05, de baixa capacidade de substituição dos fatores água-terra, a produção de *café*, *arroz*, *trigo e outros cereais* e *cana-de-açúcar*, apresentariam um desvio percentual acumulado de -0,38%, -0,30% e -0,22%, respectivamente. Para essas atividades, uma possibilidade de maior substituição entre água e terra ou disponibilidade tecnológica para tal (elasticidade de 0,95) reduziria sobremaneira o impacto econômico, passando a representar uma variação de -0,018% para o *café* e de -0,025% para *arroz*, *trigo e outro cereais*. Por outro lado, a produção de *cana-de-açúcar* exibiria uma variação acumulada que pouco varia a depender da elasticidade. O *milho em grão*, o *algodão herbáceo* e a *soja em grão* apresentam baixas variações acumuladas de 2022 a 2050 da ordem de -0,009%, -0,012% e -0,012%, respectivamente. Já os produtos oriundos da atividade da pecuária também apresentam baixa variação acumulada. As atividades de produção de

bovinos e outros animais vivos, leite de vaca e de outros animais, suínos, e aves e ovos, por sua vez, teriam variações acumuladas de -0,01%, -0,008%, -0,01% e -0,009%, respectivamente, para uma elasticidade de 0,95.

Tais resultados estão diretamente relacionados ao valor adicionado gerado por cada atividade e à necessidade hídrica e de irrigação na produção de cada cultivo. Considerando que o uso da água para os cultivos de *arroz*, de *cana-de-açúcar* e de *café* é superior ao da *soja*, estes absorverão um maior impacto econômico do aumento do custo relativo da água.

Gráfico 20: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do valor adicionado por atividade setorial, do Cenário ConAgua 1, em relação ao Cenário Base

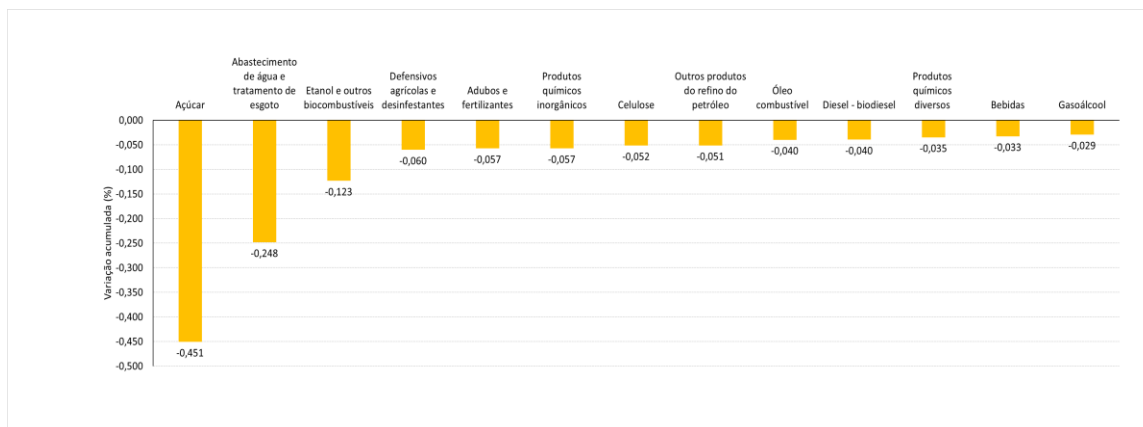


Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 21 apresenta as variações percentuais dos setores industriais e de serviços mais afetados considerando uma elasticidade de substituição de 0,5. Observa-se que, dentre as atividades mais afetadas está a produção de *açúcar* com um desvio percentual acumulado de -0,45%, o que se justifica pela elevada dependência da produção de cana-de-açúcar. A segunda atividade mais impactada é o setor de *abastecimento de água e tratamento de esgoto*, que apresenta um desvio percentual acumulado de -0,25%, o que se justifica pela dependência direta com o fator água. Na sequência, dentre os mais impactados estão as atividades econômicas de produção de *etanol e outros biocombustíveis*, com desvio

percentual acumulado de -0,12% e os *defensivos agrícolas e desinfetantes* com queda acumulada de -0,06%. Pode-se supor que a queda da primeira se justifica pela dependência pela produção de cana-de-açúcar e a segunda pela queda da produção do setor agrícola, que por sua vez, repercute no custo de produção de defensivos agrícolas.

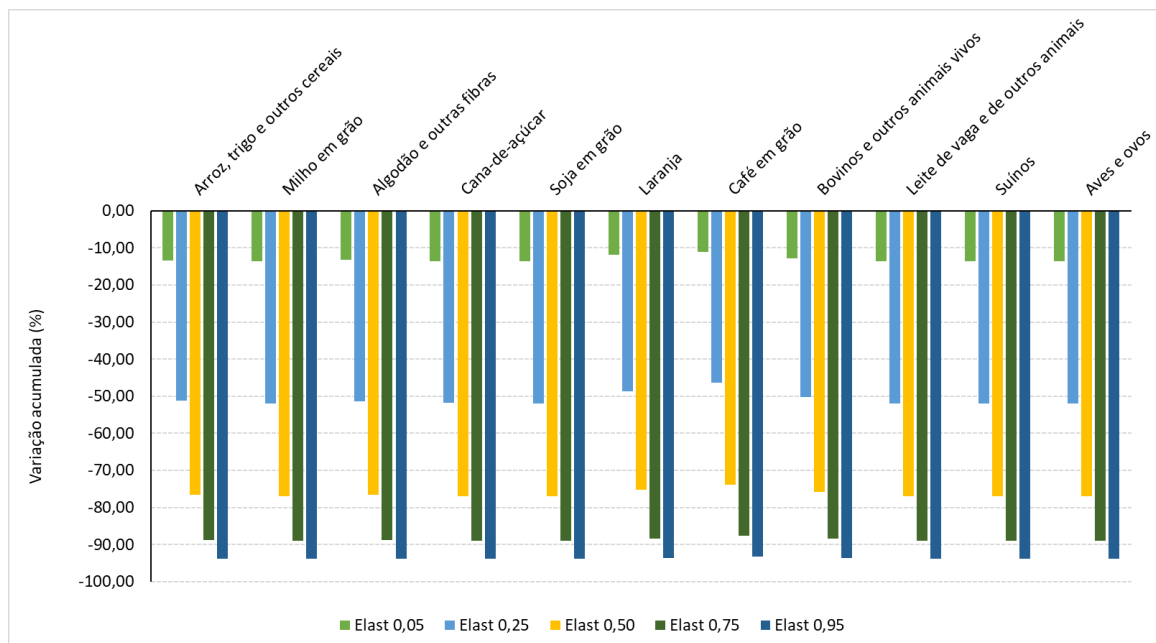
Gráfico 21: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do valor adicionado por atividade da indústria de alimentos, bebidas, papel e celulose, do Cenário ConÁgua 1, em relação ao Cenário Base



Fonte: Elaboração própria

Considerando o maior impacto no uso da água do setor da agricultura, o Gráfico 22 apresenta os efeitos setoriais no uso da água acumulados de 2022 a 2050, em relação ao cenário base. Observa-se uma maior queda de uso da água no caso da elasticidade de 0,95 e de igual proporção para todos os setores. Observa-se que, com elasticidade de 0,95 a queda acumulada estimada estaria entre -93% e -94% para os setores agropecuários. Se observarmos os resultados no caso de elasticidade de 0,05, o intervalo aponta para reduções entre -11% a -14%, logo, 83 pontos percentuais abaixo em relação à elasticidade de 0,05. Com a elasticidade de 0,5, se teria uma queda variando entre -75% e -77%.

Gráfico 22: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do consumo de água da atividade setorial do Cenário ConAgua 1, em relação ao Cenário Base



Fonte: Elaboração própria

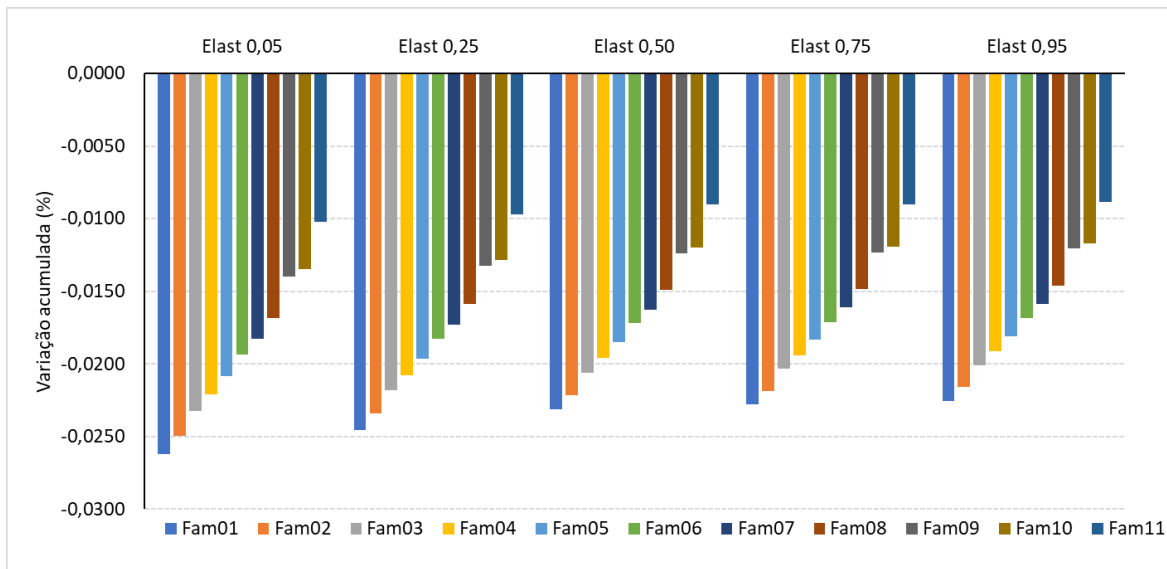
6.1.4. Impacto no consumo das Famílias do Cenário ConAgua 1

Conforme apresentado na análise dos efeitos setoriais, o impacto do aumento do custo relativo do fator água decorrente do cenário ConAgua 1 concentra-se majoritariamente na produção de produtos agrícolas. Considerando que o consumo de alimentos constitui uma parcela importante da cesta de bens de consumo das famílias, a análise dos efeitos sobre o consumo das famílias por nível de estratificação mostra-se de grande relevância.

O Gráfico 23 apresenta os desvios percentuais acumulados do consumo das famílias, considerando a estratificação em 11 faixas de renda, sendo o estrato Fam 01 de menor faixa de renda (até 1 salário-mínimo) e Fam 11 de maior faixa de renda (acima de 30 salários-mínimos). Ao analisar os efeitos do cenário de política sobre o consumo das famílias, nota-se que os resultados variam consideravelmente entre os níveis de renda e de elasticidade. Quanto menor a classe de renda, maior o impacto sobre o consumo das famílias, e quanto maior a elasticidade, menor seria esse impacto. Considerando a menor substituíbilidade entre os fatores água e terra (0,05), a variação acumulada no consumo das famílias de menor renda (Fam 01) seria da ordem de -0,026%, ao passo que o impacto para o extrato superior

(estratificação Fam 11), a variação acumulada seria de -0,01%. Já com uma elasticidade a 0,95, o impacto na estratificação Fam 01 seria de -0,023% e na Fam 11, de -0,009%.

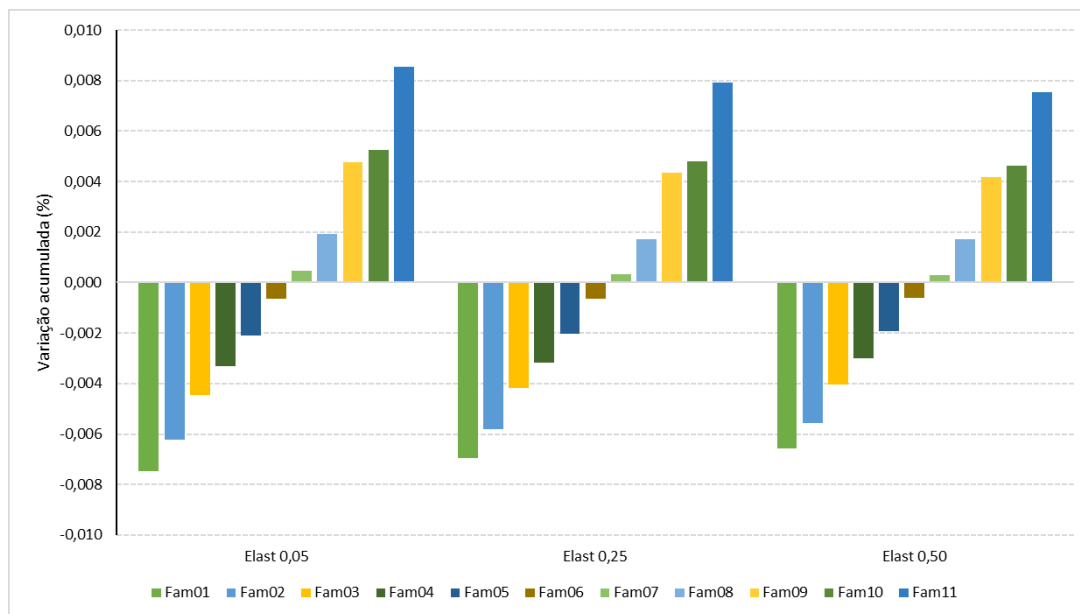
Gráfico 23: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do consumo das famílias por faixa de renda do Cenário ConÁgua 1, em relação ao Cenário Base



Fonte: Elaboração própria

Ao comparar os resultados das diferentes faixas de renda em relação à variação acumulada média do consumo total das famílias, mostra-se no Gráfico 24 que famílias situadas entre o primeiro e o sexto extrato de renda são aquelas com maiores perdas em relação à queda do consumo médio. Já as famílias pertencentes do sétimo a décimo primeiro extrato incidiriam quedas inferiores à queda do consumo médio, logo, se teria uma diferença positiva, indicando uma queda menor.

Gráfico 24: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 em relação ao Cenário Base do consumo das Famílias por decil de faixa de renda, em relação ao consumo médio (%)



Fonte: Elaboração própria

Dessa forma, as projeções apontam que no cenário ConAgua 1 se teria um impacto regressivo, em que as famílias de menor renda seriam mais afetadas. No caso de maior elasticidade de substituição água-terra esse efeito seria reduzido, no entanto, ainda permaneceria.

6.2. Resultados da Política ConAgua 2: Aplicação da cobrança pelo uso da água sobre o setor agropecuário para investimento em infraestrutura verde

O primeiro cenário de política baseou-se na premissa de uma ampliação da aplicação da cobrança sobre os demais usuários de modo que o preço público médio da água fosse aplicado sobre a integralidade do uso pela economia. Logo, na primeira proposta de política não se considerou nenhum objetivo específico de financiamento direcionado à melhoria do balanço hídrico e da gestão das bacias hidrográficas. Considerando que o objetivo da cobrança consiste em garantir recursos financeiros para a adequada gestão das bacias, esta hipótese, portanto, foi incorporada na determinação da precificação.

De modo a direcionar o aprimoramento da cobrança com base no objetivo de realizar o investimento em infraestrutura verde a partir da restauração de APP e a implantação de PSA em bacias com restrição hídrica, conforme previsto em uma das macrodiretrizes

definidas no Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040, fundamentou-se a aplicação do cenário ConAgua 2 no aumento da precificação aplicada sobre o setor agropecuário.

Considerando o passivo de vegetação nativa nas APP de 1,04 milhão de hectares, estimou-se a necessidade de investimento na restauração na ordem de R\$ 25,33 bilhões, valor este utilizado para realização do choque sobre o preço da água no setor agropecuário de 55,27% ao ano. Portanto, os resultados desse cenário contemplam o objetivo de aplicação da arrecadação do aumento da cobrança em investimento em infraestrutura verde, visando a melhoria do balanço hídrico quali-quantitativo das bacias hidrográficas. A apresentação dos resultados a seguir seguem a mesma ordem da seção anterior, ou seja, primeiro identifica-se os efeitos sobre os agregados macroeconômicos e de uso da água agregado, em seguida analisa-se os efeitos setoriais, e por fim o impacto na demanda das famílias.

6.2.1. Impacto nos agregados macroeconômicos do Cenário ConAgua 2

O aumento do preço da água aplicado sobre o setor agropecuário no cenário ConAgua 2, causaria uma variação percentual do PIB acumulada entre 2022 e 2050, em relação ao cenário base, de -0,08%. A Tabela 22 e o Gráfico 25 apresentam os resultados de ambos os cenários de política, ConAgua 1 e ConAgua 2. Observa-se que, comparativamente ao Cenário ConAgua 1, embora a arrecadação tenha aumentado em 35 vezes, o aumento da cobrança no cenário ConAgua 2 representou uma perda de apenas 0,065 pontos percentuais superior ao primeiro cenário, ainda representando um baixo impacto. Ademais, conforme apresentado na tabela, o aumento percentual acumulado do preço do fator água passaria de 129,2% no cenário ConAgua 1 para 904,8% no cenário ConAgua 2.

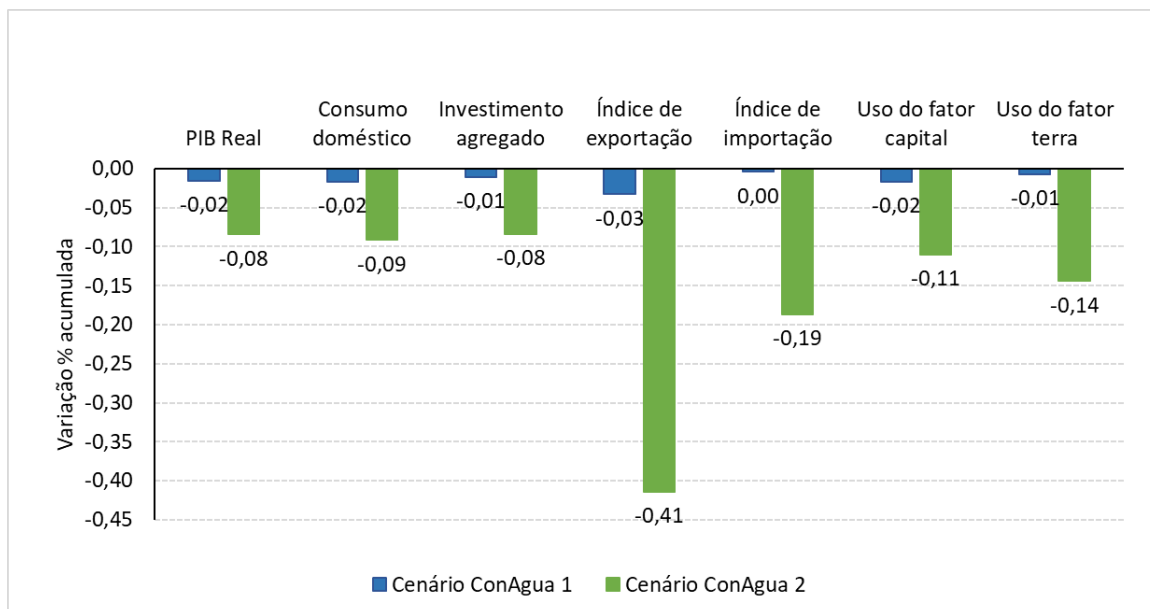
Tabela 22: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 dos agregados macroeconômicos do Cenário ConÁgua 1 e ConÁgua 2, em relação ao Cenário Base

Agregados macroeconômicos	Desvio % acumulado em 2050	
	Cenário ConÁgua 1	Cenário ConÁgua 2
PIB Real	-0,015	-0,084
Consumo doméstico	-0,017	-0,091
Investimento agregado	-0,010	-0,084
Índice de exportação	-0,033	-0,414
Índice de importação	-0,004	-0,187
Emprego agregado (uso fator trabalho)	0,000	-0,005
Uso do fator capital	-0,017	-0,110
Uso do fator terra	-0,007	-0,144
Uso do fator água	-2,235	-26,138
Salário real	-0,031	-0,146
Índice de preço do consumidor	0,009	-0,026
Preço/custo do fator terra	-0,078	-0,692
Preço/custo do fator água	129,202	904,836

Fonte: Elaboração própria

Assim como no cenário ConÁgua 1, dentre os agregados macroeconômicos, aquele que apresentou o maior desvio percentual acumulado em relação ao cenário base foram as exportações, com uma queda acumulada de -0,41% em relação ao cenário base, o que representa 0,38 p.p. a mais em queda que o primeiro cenário. Observa-se também que o desvio acumulado do índice de importação é o segundo maior desvio com -0,19%. O consumo doméstico e o investimento agregado apresentam, por sua vez, um desvio percentual acumulado de -0,09% e -0,08%, respectivamente, logo, quase a mesma proporção que a variação do PIB. Em relação ao uso do fator água, observa-se que este apresentou uma variação percentual acumulada em relação ao cenário base da ordem de -26,13%, isto é uma queda superior em 24 pontos percentuais em relação ao resultado do Cenário ConÁgua 1.

Gráfico 25: Desvio percentual acumulado dos agregados macroeconômicos no cenário ConAgua 2 e no cenário ConAgua 1, de 2022 a 2050, em relação ao Cenário Base (%)

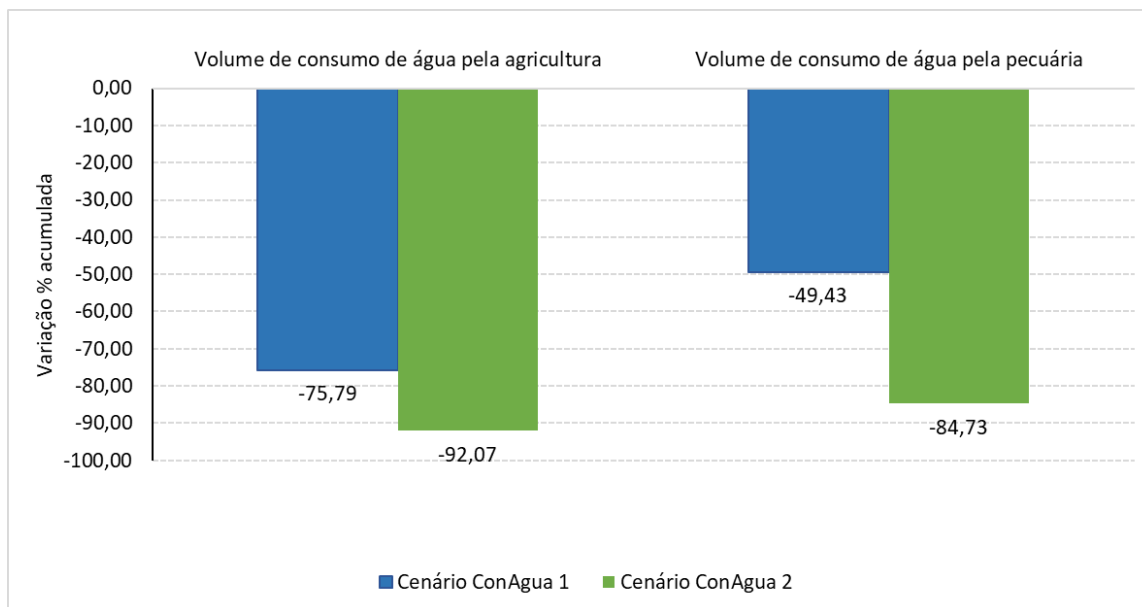


Fonte: Elaboração própria

6.2.2. Impacto setorial no uso da água do Cenário ConAgua 2

Os resultados dos efeitos do Cenário ConAgua 2 sobre o consumo de água setorial apontam para um impacto maior para o setor agrícola com uma queda acumulada de -92,07% em 2050 em relação ao cenário base, o que representa uma queda superior em 16 p.p. em relação ao cenário ConAgua 1. É importante observar que tal percentual indica uma queda sobre o incremento da demanda de água considerando as premissas do cenário base. O setor da pecuária, por sua vez, atinge uma queda acumulada em 2050 de -84,73% em relação ao cenário base, conforme apresentado no Gráfico 26.

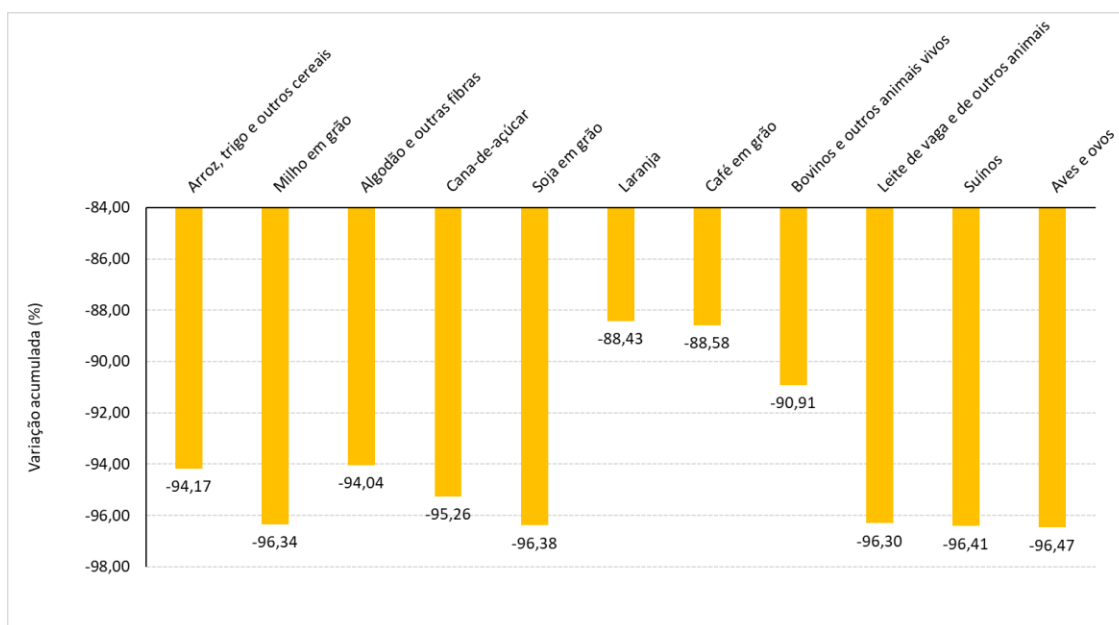
Gráfico 26: Desvio percentual acumulado do volume de água da agricultura e da pecuária no Cenário ConÁgua 2, em relação ao Cenário Base (%)



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 27 apresenta a variação percentual acumulada do consumo de água para os diferentes produtos agropecuários. Observa-se que o desvio percentual acumulado vai de -96% na produção de soja e milho, leite de vaca, suínos, aves e ovos a -88% na produção de laranja e café em grão.

Gráfico 27: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do volume de água desagregada dos setores agrícolas no Cenário ConAgua 2, em relação ao Cenário Base (%)



Fonte: Elaboração própria

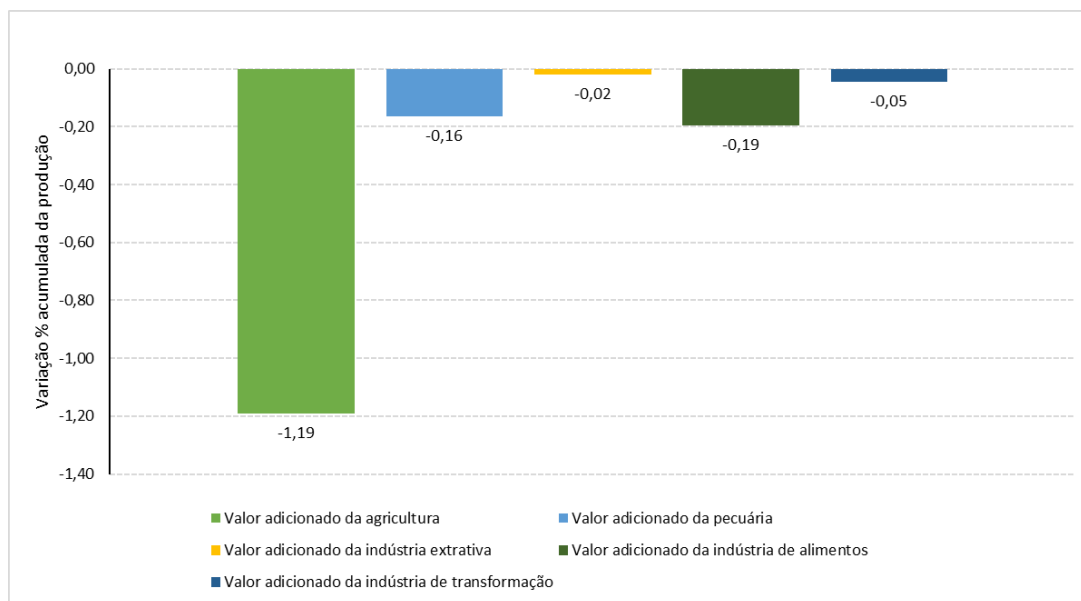
Os resultados dos efeitos do Cenário ConAgua 2 sobre o consumo de água dos demais setores agregados da indústria de transformação apresentam quedas em até -0,05%, logo, bem menos representativas comparativamente ao setor agrícola e pecuária. Dentre os setores industriais, o da indústria de alimentos é aquele que apresenta a maior queda do consumo de água, de -0,01% em 2030 e atingindo -0,05% em 2050.

6.2.3. Impacto setorial econômico do Cenário ConAgua 2

Os resultados do impacto econômico setorial mostram que o setor agrícola é aquele com maior perda de valor adicionado, da ordem de -1,19% acumulada em relação ao cenário base entre 2022 e 2050, conforme apresentado no Gráfico 28. Em segundo, a indústria de alimentos apresenta uma queda percentual acumulada de -0,19%, ao passo que o setor da pecuária apresenta uma queda de valor adicionado de -0,16%. Tal fato decorre da elevada interdependência do setor de alimentos em relação ao setor agrícola. Logo, a queda da produção do setor agrícola impacta o setor de alimentos em maior amplitude

comparativamente ao setor da pecuária, embora este tenha diretamente absorvido o choque da precificação da água. As indústrias de transformação e extrativa absorvem um impacto indireto de -0,05% e -0,02%, respectivamente.

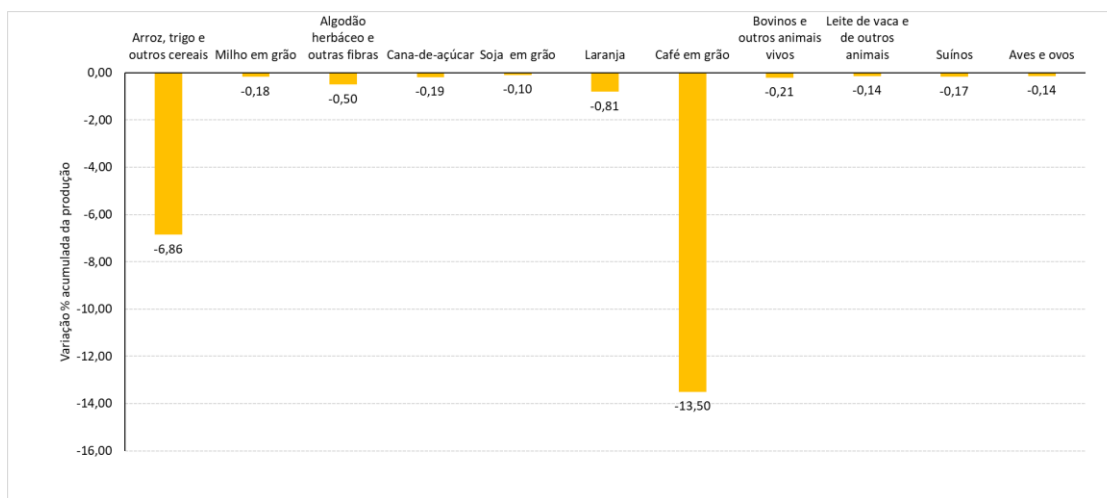
Gráfico 28: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 da produção setorial agregado, no Cenário ConÁgua 2 em relação ao Cenário Base (%)



Fonte: Elaboração própria

Tais resultados estão diretamente relacionados ao impacto do aumento do custo relativo do fator água, que implica na redução da demanda hídrica e consequentemente gera variações da produção. Nesse sentido, é importante observar o impacto na produção setorial por atividade. O Gráfico 29 aponta que as atividades com maior variação acumulada de produção em relação ao cenário base são o *Café em grão* e *Arroz, trigo e outros cereais* que apresentam uma variação de -13,50% e -6,86%, respectivamente. Em seguida, a produção de *laranja e algodão e outras fibras* apresenta uma variação percentual acumulada de -0,81% e -0,50%, respectivamente, entre 2022 e 2050. É interessante observar que embora o elevado impacto sobre o consumo de água na produção de milho (-96,34%), soja (-96,38%) e de cana-de-açúcar (-95,26%), a redução sobre a produção desses produtos é baixa, de -0,18%, -0,10%, -0,19%, respectivamente. Tal fato decorre da baixa participação da água na agregação de valor desses produtos. A produção de *Bovinos e outros animais vivos, Leite de vaca e de outros animais, Suínos e Aves e ovos*, apresentam variações acumuladas de -0,21%, -0,14%, -0,17% e -0,14%.

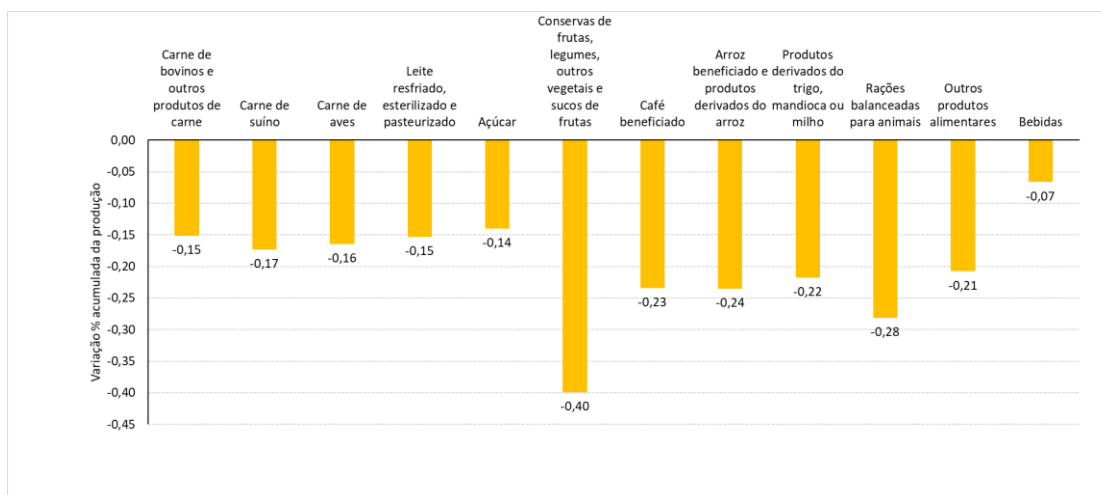
Gráfico 29: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 da produção setorial desagregado para os setores agrícola e da pecuária, no Cenário ConÁgua 2 em relação ao Cenário Base (%)



Fonte: Elaboração própria

Conforme apresenta o Gráfico 30, o setor da indústria de alimentos é aquele com o segundo maior impacto agregado após os setores da agricultura e pecuária. Observa-se que o setor de *conservas de frutas, legumes e outros vegetais e sucos de frutas* seria aquele com maior diminuição do valor adicionado, com queda de -0,40% em relação ao cenário base, seguido do setor *rações para animais* com redução de -0,28%. É interessante observar que embora a produção de café apresente o maior desvio em queda do valor adicionado, a atividade do *café beneficiado* apresenta menor impacto comparativamente aos outros setores da indústria, isto é, -0,23% acumulado em relação ao cenário base. Tal resultado decorre da pequena parcela de café destinado ao beneficiamento nacional, logo, da baixa interdependência entre a atividade agrícola de produção de café e o setor de beneficiamento. Contudo, observa-se que os setores da indústria de alimentos são majoritariamente impactados pela queda de produção e elevação de preço dos setores agrícolas.

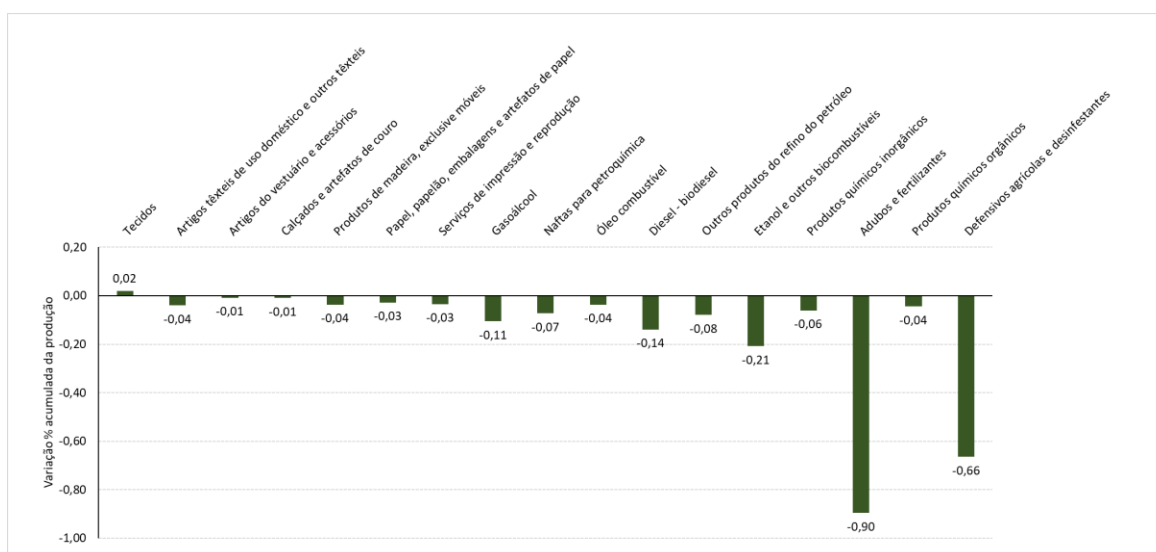
Gráfico 30: Desvio percentual acumulada de 2022 a 2050 da produção setorial desagregado para o setor da indústria de alimentos, no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%)



Fonte: Elaboração própria

Da mesma forma que para a indústria de alimentos, o Gráfico 31 apresenta o impacto sobre outros setores da indústria de transformação e indica que os setores mais afetados são aqueles com maior interdependência com o setor agrícola. Dentre aqueles mais afetados estão o setor de *adubos e fertilizantes e defensivos agrícolas e desinfetantes*, com redução de -0,90% e -0,66% na produção, respectivamente.

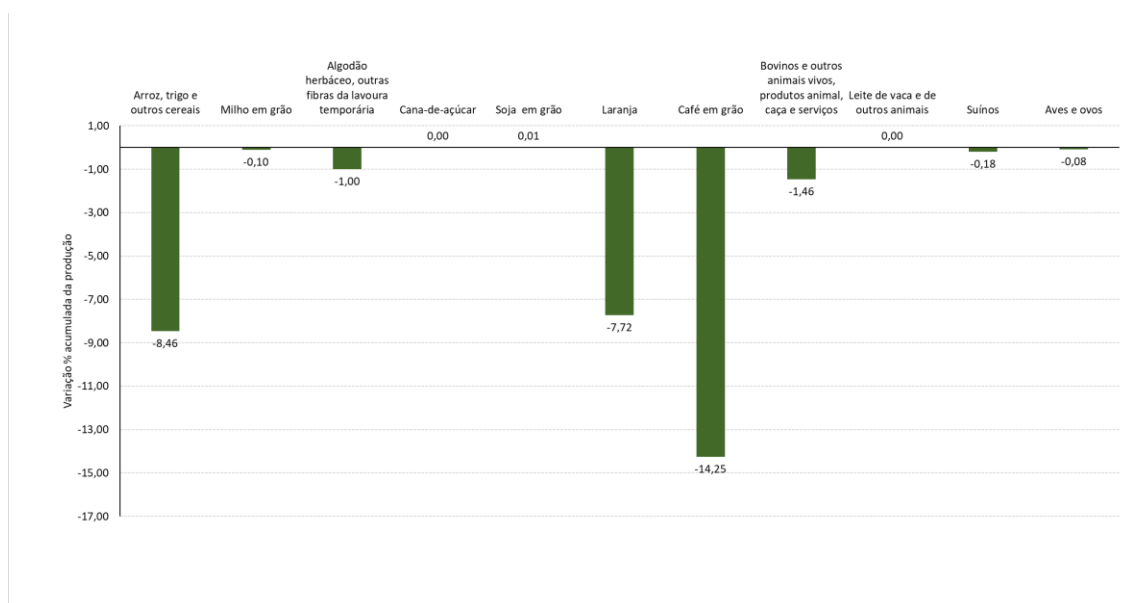
Gráfico 31: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 da produção setorial desagregado para o setor da indústria de transformação, no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%)



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 32 ilustra as variações percentuais acumuladas das exportações setoriais agropecuárias. Observa-se que a exportação do *café em grão* é a mais afetada com impacto sobre as exportações de -14,25%, um percentual levemente superior ao impacto sobre a produção. O segundo produto com maior impacto nas exportações é o *arroz, trigo e outros cereais* projetado em -8,46%, seguido da *laranja* e *algodão*, -7,72% e -1%, respectivamente, em relação ao cenário base entre 2022 e 2050. A exportação de produtos da pecuária, *bovinos e outros animais vivos, produtos animais, caça e serviços*, por sua vez, apresentaria queda de -1,46% em relação ao cenário base.

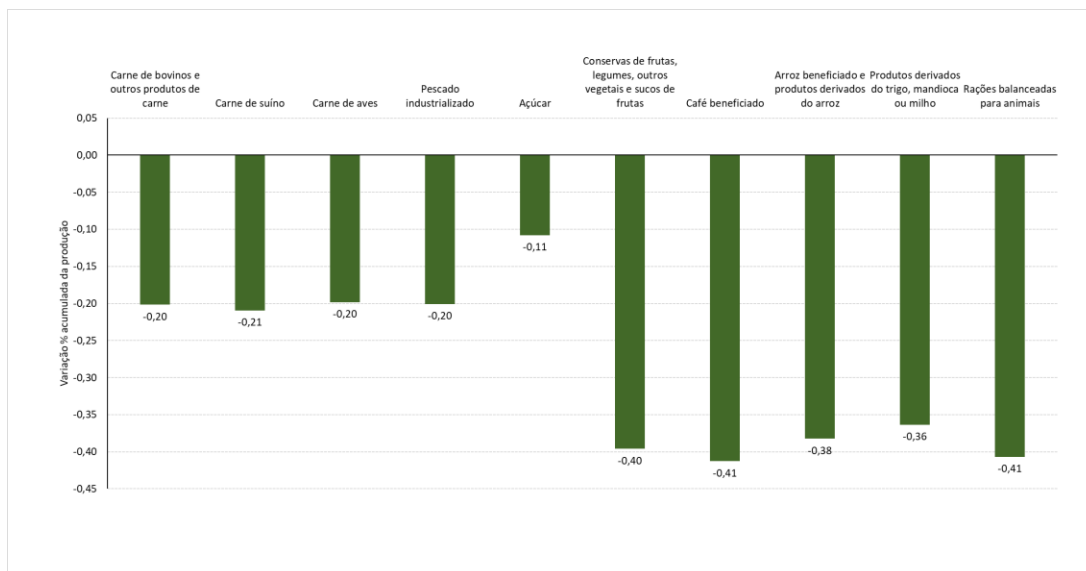
Gráfico 32: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 nas exportações setoriais no Cenário ConÁgua 2 em relação ao Cenário Base (%)



Fonte: Elaboração própria

O Gráfico 33 reporta os resultados sobre as exportações setoriais da indústria de alimentos. Em função da baixa participação da exportação de produtos industriais agroalimentares, observa-se um desvio negativo que pode atingir -0,41%, para exportação de *café beneficiado*, a -0,11% para exportação de *açúcar*.

Gráfico 33: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 nas exportações de produtos da indústria de alimentos no Cenário ConAgua 2 em relação ao Cenário Base (%)

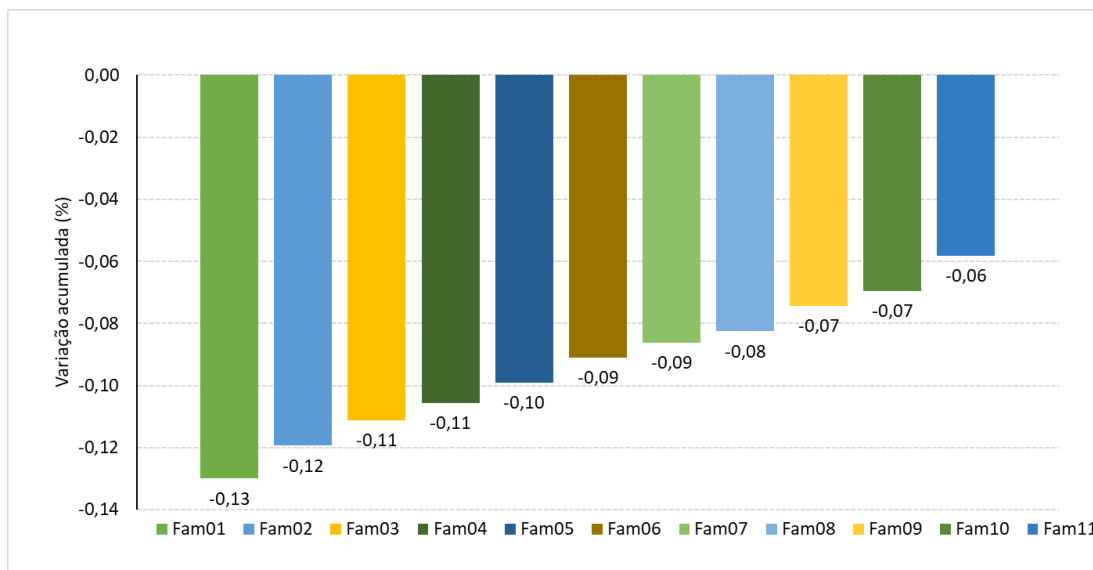


Fonte: Elaboração própria

6.2.4. Impacto no consumo das Famílias do Cenário ConAgua 2

Assim como no cenário ConAgua 1, a análise dos efeitos do cenário ConAgua 2 sobre o consumo das famílias indica que quanto menor a classe de renda, maior o impacto sobre o consumo das famílias. Conforme apresentado no Gráfico 34, o impacto no consumo das famílias com estratificação da Fam 01 (até 1 SM) mostra uma variação negativa de -0,13%, ao passo que na estratificação da Fam 11 (acima de 30 SM), o impacto ficaria em -0,06% em relação ao cenário base. Esse efeito regressivo é consequência do aumento dos custos setoriais causados pela introdução da precificação sobre os setores agropecuários e de alimentos, que possuem elevada participação no consumo das famílias com menor renda.

Gráfico 34: Desvio percentual acumulado de 2022 a 2050 do consumo das famílias por faixa de renda do Cenário ConAgua 2, em relação ao Cenário Base (%)



Fonte: Elaboração própria

A participação de produtos da agropecuária e alimentos na cesta de bens de consumo é relativamente maior para os extratos de renda mais baixos, chegando a 29,4% do consumo das famílias do primeiro extrato. Portanto, o aumento da precificação da água sobre esses setores teria impacto relativamente superior sobre o consumo dessa classe. Já para as famílias dos extratos mais altos, o consumo de agropecuária e alimentos é relativamente menor, chegando a apenas 6,1% no extrato de renda mais alta.

7. CONCLUSÕES

O aumento da frequência de eventos extremos, a degradação de bacias hidrográficas e o crescimento da demanda hídrica pelas atividades econômicas, em particular para exportação de água virtual embutida em commodities agropecuárias, são fatores com implicações negativas no balanço hídrico local. Dentre os potenciais impactos estão a ocorrência de bacias hidrográficas com restrição hídrica, isto é, com classes de balanço hídrico em estado preocupante, crítico e muito crítico, perdas socioeconômicas de grande magnitude, assim como conflitos socioambientais decorrentes da escassez hídrica.

Para mitigar tais efeitos, o fortalecimento dos instrumentos de governança das águas e floresta mostram-se de extrema relevância para garantir a efetividade de ações voltadas para o objetivo da segurança hídrica. Nesse contexto, a presente tese teve por objetivo identificar regionalmente os municípios prioritários para a integração dos instrumentos da cobrança e conservação das bacias hidrográficas e avaliar o impacto econômico da aplicação da cobrança pelo uso da água para fins de financiamento em infraestrutura verde, visando garantir a implementação de ações que visem a segurança hídrica.

A análise regionalizada dos municípios com ocorrência de restrição hídrica e elevada demanda do setor agropecuário, mostrou que, de toda abrangência nacional, 144,6 milhões hectares de bacias hidrográficas (17%) encontram-se em estado de restrição hídrica, sendo os estados da Bahia, Minas Gerais, Ceará e Rio Grande Sul, aqueles com as maiores áreas com bacias em estado de restrição hídrica. Por sua vez, a análise da exportação de água embutida em commodities agropecuárias, aponta que, do volume total de água consumido no cultivo irrigado de soja, milho e algodão, 42% são destinados à exportação e 58% são destinados à demanda interna. Os municípios com as mais elevadas demandas de água para produção das commodities, como o município de São Desidério (BA), Barreiras (BA) e Cristalina (GO), estes possuem 65%, 77% e 63%, respectivamente, de suas bacias hidrográficas com restrição hídrica.

Embora a obrigatoriedade do setor agropecuário atender os critérios de preservação da vegetação nativa em APP para proteção dos corpos hídricos, o Brasil possui um passivo de vegetação em APP da ordem de 2,27 milhões de hectares, que comprometem as funções hidrológicas relacionadas à recarga hídrica, controle de erosão e perda do solo, proteção de

nascentes, dentre outras. Desse modo, há uma extensa área nas bacias hidrográficas a ser restaurada para garantir a proteção dos corpos hídricos. A fim de traçar uma prioridade de investimento em infraestrutura verde, direcionado às bacias com restrição hídrica e elevada demanda de água do setor agropecuário, estimou-se a necessidade de restauração de uma área de 1,04 milhão de hectares de APP, distribuídos em 1.545 municípios, o que representa a restauração de 46% da área total de passivo, por um investimento estimado em R\$25,3 bilhões.

A partir do modelo de EGC ConAgua, simulou-se, portanto, o impacto da ampliação da aplicação da cobrança sobre o setor agropecuário, de modo que a cobrança viabilize a arrecadação do montante de recurso para investimento na restauração das APP. Os resultados das simulações do cenário de aumento de precificação sobre o setor agropecuário apontam que o impacto negativo no PIB seria de apenas -0,08% e o impacto no setor da agricultura de -1,19% e da pecuária de -0,16%. Dentre os agregados macroeconômicos, aquele que apresentaria o maior impacto seriam as exportações, com queda -0,41%. A análise possibilita identificar que a produção mais afetada seria sobre os produtos agrícolas, tais como a produção de café, arroz, trigo e outros cereais, em maiores proporções, sobre a indústria de alimentos, como na produção de conservas de frutas e legumes, e sobre a indústria de transformação, em setores que proveem insumos para o setor agrícola, como produção de adubos, fertilizantes e defensivos agrícolas. As exportações também seriam afetadas em baixa proporção percentual, aproximada dos setores agrícolas, uma vez que uma grande parcela deste é destinado às exportações. Por outro lado, os resultados mostram uma redução do consumo de água significativo, da ordem de -26,14% uma vez que o aumento da precificação aumenta o custo relativo do fator água, incentivando a substituição por outros fatores como terra.

Embora o modelo ConAgua tenha contribuído para realização de cenários de aumento da cobrança visando o objetivo de garantir investimento em infraestrutura verde, o modelo nacional impossibilita uma leitura regional por bacia hidrográfica. Desse modo, pressupondo avanços na disponibilidade de dados, considera-se como campo de pesquisa futuro a realização de uma análise regionalizada com recorte por bacia hidrográfica.

Embora os resultados apresentem queda da produção, o impacto sobre as atividades é considerado de baixa magnitude, comparativamente ao incremento da arrecadação potencial para fins de melhoria da governança das águas e floresta. Se por um lado, o setor agropecuário e aqueles relacionados a ele sofreriam ajustes estruturais com baixa queda do valor adicionado e das exportações, se obteria importantes resultados em termos de redução do consumo de água setorial e se garantiria a arrecadação para investimento em infraestrutura verde nas bacias hidrográficas, reduzindo potencialmente a restrição hídrica. Desse modo, entende-se que, eventual argumentação quanto ao impacto econômico da cobrança como custo produtivo por parte do setor agropecuário, para justificar a sua não implementação, mostra-se inconsistente.

Ademais, conclui-se que o componente, de interesses privados associados ao setor produtivo e institucional-político, que dificulta a implementação da cobrança nos estados que ainda não a implementaram, embora exportem água embutida em commodities agropecuárias e sofram de restrições hídricas, deve ser superado. A aplicação da precificação pelo uso da água sobre o setor agropecuário mostra-se de extrema relevância para fins de atribuição do valor econômico da água virtual, isto é, sobre o volume de água exportada nas commodities agropecuárias que causam maior pressão sobre o balanço hídrico local. Conforme demonstrado, municípios exportadores de água embutida em commodities agropecuárias apresentam situação de restrição hídrica. Logo, se faz fundamental a integração dos instrumentos de gestão de água e floresta através de condicionantes de outorga de garantia de cumprimento da LPVN e do pagamento pelo uso da água para investimento em infraestrutura verde nas bacias hidrográficas. Desse modo, a tomada de decisão que objetive a implementação desses instrumentos requer o reconhecimento nas instâncias setoriais e políticas quanto a sua importância, para efetiva melhoria da governança dos recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, E. A. P. et al. Biophysical benefits simulation modeling framework for investments in Nature-based Solutions in São Paulo-Brazil water supply system. *Water*, v. in press, n. in press, 2023.

ALLAN, P. J. A. Policy responses to the closure of water resources. *Water Policy: Allocation and Management in Practice*, Ed. P. Howsam and R. Carter. London: Chapman and Hall, 1996.

ALLAN, P. J. A. *Water Security in the Middle East: The Hydro-Politics of Global Solutions*. n. SOAS/King's College London Water Research Group, 1998.

ANA. *Cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Capacitação em Gestão de Recursos Hídricos*; v.7. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2014.

ANA. *Atlas Irrigação - Uso da Água na Agricultura Irrigada*. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2015.

ANA. *Orientações gerais para a implementação da cobrança pelo uso de recursos hídricos em bacias hidrográficas*. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2017.

ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual*. Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2018.

ANA. *Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos*. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2019a.

ANA. *Manual de usos consuntivos da água no Brasil*. Brasília, DF: ANA, 2019b.

ANA. *Cobrança pelo uso dos recursos hídricos*. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2019c.

ANA. *Plano Nacional de Segurança Hídrica*. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2019d.

ANA. *Coeficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada*. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2019e.

ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: informe anual*. n. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico- Brasília: ANA, 2020.

ANA (ED.). *Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. 2a. edição ed. Brasília: ANA, 2021.

ANA. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2021: relatório pleno*. Agência Nacional de Águas - Brasília: ANA, 2022.

ANA. NOTA INFORMATIVA Nº 24/2022/CSCOB/SAS. 2022a.

ANA. Plano Nacional de Recursos Hídricos 2022-2040: Plano de Ação. Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA., 2022b.

ANA. Histórico da Cobrança. Acessado em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/politica-nacional-de-recursos-hidricos/cobranca/historico-da-cobranca>. Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA., 2023.

ARMINGTON, P. S. A Theory of Demand for Products Distinguished by Place of Production. *International Monetary Fund Staff Papers*, v. 16, n. 1, p. 159-178, 1969.

AVISO, K. B. et al. A multi-region input-output model for optimizing virtual water trade flows in agricultural crop production. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, v. 29, n. 1, p. 63–75, 8 jan. 2018.

BEKCHANOV, M.; SOOD, A.; JEULAND, M. Review of hydro-economic models to address river basin management problems: structure, applications and research gaps. *International Water Management Institute (IWMI)*., 2015. Disponível em: <<http://www.iwmi.cgiar.org/publications/iwmi-working-papers/iwmi-working-paper-167/>>. Acesso em: 30 dez. 2021.

BERRITTELLA, M. et al. The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis. *Water Research*, v. 41, n. 8, p. 1799–1813, abr. 2007.

BRINDHA, K. International virtual water flows from agricultural and livestock products of India. *Journal of Cleaner Production*, v. 161, p. 922–930, set. 2017.

CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R. S. J. The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis. *Journal of Hydrology*, v. 384, n. 3–4, p. 292–305, abr. 2010.

CAZCARRO, I.; DUARTE, R.; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J. Economic growth and the evolution of water consumption in Spain: A structural decomposition analysis. *Ecological Economics*, v. 96, p. 51–61, dez. 2013.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. *Institute for Water Education/UNESCO- IHE*, 2003.

CHIAVARI, J.; LOPES, C., L.; ARAUJO, J. N. Onde Estamos na Implementação do Código Florestal? Radiografia do CAR e do PRA nos Estados Brasileiros. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2021.

CHO, S. J. et al. Collaborative Watershed Modeling as Stakeholder Engagement Tool for Science-Based Water Policy Assessment in São Paulo, Brazil. *Water*, v. 15, 401, 2023.

CIASCA, B. S. et al. Economic Cost of Drought and Potential Benefits of Investing in Nature-Based Solutions: A Case Study in São Paulo, Brazil. *Water*, v. 15, n. 3, p. 466, 24 jan. 2023.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, v. 387, n. 6630, p. 253–260, maio 1997.

COSTANZA, R. et al. Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environmental Change*, v. 26, p. 152–158, maio 2014.

COSTANZA, R. et al. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, v. 28, p. 1–16, dez. 2017.

DA SILVA, V. et al. Water Footprint and Virtual Water Trade of Brazil. *Water*, v. 8, n. 11, p. 517, 9 nov. 2016.

DAILY, G. *Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC, 1997.

DE CARVALHO, M. M. Efetividade econômica, social e ambiental da precificação de carbono na economia brasileira para o alcance de metas de redução de emissões de gases de efeito estufa. n. Tese de Doutorado-Universidade Federal de Minas Gerais, 2022.

DE SOUZA, H. G. Avaliação dos efeitos da disponibilidade hídrica no estado de Pernambuco: uma abordagem usando equilíbrio geral computável. n. Tese Doutorado-Universidade Federal da Paraíba, 2022.

DENG, G.; MA, Y.; LI, X. Regional water footprint evaluation and trend analysis of China—based on interregional input–output model. *Journal of Cleaner Production*, v. 112, p. 4674–4682, jan. 2016.

DIAO, X. et al. A general equilibrium analysis of conjunctive ground and surface water use with an application to Morocco. *Agricultural Economics*, p. 19, 2008.

DIXON, P.B.; RIMMER, M. *Forecasting and Policy Analysis with a Dynamic CGE Model of Australia*. Working Paper, 1998.

DOBROVOLSKI, R.; RATTIS, L. Water collapse in Brazil: the danger of relying on what you neglect. *Natureza & Conservação*, v. 13, n. 1, p. 80–83, jan. 2015.

DOMINGUES, E. P.; HADDAD, E. A. Sensitivity Analysis in Computable General Equilibrium Models: An Application for the Regional Effects of the Free Trade Area of the Americas (FTAA). *Brazilian Review of Econometrics*, v. 25, n. 1, p. 115, 1 maio 2005.

DUARTE, R.; PINILLA, V.; SERRANO, A. Understanding agricultural virtual water flows in the world from an economic perspective: A long term study. *Ecological Indicators*, v. 61, p. 980–990, fev. 2016.

FANG, G. et al. Discharge Fee Policy Analysis: A Computable General Equilibrium (CGE) Model of Water Resources and Water Environments. *Water*, v. 8, n. 9, p. 413, 21 set. 2016.

FERRARINI, A. DOS S. F. Avaliação setorial do uso da água no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável (CGE). Doutorado em Economia Aplicada—Piracicaba: Universidade de São Paulo, 21 mar. 2018.

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

FAO. FAO Irrigation and Drainage Paper nº56. Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. 2006

GARCÍA-LEÓN, D.; STANDARDI, G.; STACCIONE, A. An integrated approach for the estimation of agricultural drought costs. *Land Use Policy*, v. 100, p. 104923, jan. 2021.

GODAR, J. et al. Towards more accurate and policy relevant footprint analyses: Tracing fine-scale socio-environmental impacts of production to consumption. *Ecological Economics*, v. 112, p. 25–35, abr. 2015.

GOTTFRIED, R.; WEAR, D.; LEE, R. Institutional solutions to market failure on the landscape scale. *Ecological Economics*, v. 18, n. 2, p. 133–140, ago. 1996.

HAROU, J. J. et al. Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. *Journal of Hydrology*, v. 375, n. 3–4, p. 627–643, set. 2009.

HOEKSTRA, A. Y. Water scarcity and international trade: The need to extend the scope of water resources management. Heidelberg: Winter, 2008.

HOEKSTRA, A. Y. The Relation between International Trade and Freshwater Scarcity: WTO Working Papers, 2010. Disponível em: <https://www.wto-ilibrary.org/economic-research-and-trade-policy-analysis/the-relation-between-international-trade-and-freshwater-scarcity_3563958d-en>. Acesso em: 8 ago. 2021.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade. *Global Environmental Change*, v. 15, n. 1, p. 45–56, abr. 2005.

HOMER-DIXON, T. F. Environmental Scarcities and Violent Conflict. Vol. 19, No. 01. n. *International Security*, 1994.

HOMER-DIXON, T. F. Environment, Scarcity, and Violence. *Human Ecology Review*, 2000.

HORRIDGE, M. ORANI-G: A General Equilibrium Model. Cops/IMPACT Working Paper Number OP-93, n. Centre of Policy Studies, Monash University, 2000.

HORRIDGE, M.; ET AL. GEMPACK manual, GEMPACK Software. 2018.

HORRIDGE, M.; MADDEN, J.; WITTEWER, G. The impact of the 2002–2003 drought on Australia. *Journal of Policy Modeling*, v. 27, n. 3, p. 285–308, abr. 2005.

IBGE. Contas Econômicas Ambientais da Água. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2018.

IBGE. Pesquisa Agrícola Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IBGE. Pesquisa da Pecuária Municipal. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBGE. Pesquisa Industrial Anual - Produto. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IBGE. Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) de 2017-2018. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2021

IPCC. Climate Change 2022 Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers. Working Group II. Sixth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change; UNEP; WMO, 2022.

JOHANSEN, L. A Multisectoral Model of Economic Growth. Amsterdam: North- Holland, 1960.

LETSOALO, A. et al. Triple dividends of water consumption charges in South Africa: TRIPLE DIVIDENDS OF WATER TAX REFORM. *Water Resources Research*, v. 43, n. 5, maio 2007.

LIMA, R. C. A.; MUNHOZ, L. PROGRAMAS DE REGULARIZAÇÃO AMBIENTAL PRAs: Um guia para orientar e impulsionar o processo de regulamentação dos PRAs nos estados brasileiros. n. São Paulo: Agroicone, 2016.

LIU, J. et al. Water scarcity assessments in the past, present, and future: REVIEW ON WATER SCARCITY ASSESSMENT. *Earth's Future*, v. 5, n. 6, p. 545–559, jun. 2017.

LLOP, M. Water reallocation in the input–output model. *Ecological Economics*, v. 86, p. 21–27, fev. 2013.

MAGALHÃES, A. S. Economia de baixo carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa. n. Tese Doutorado- Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.

MCDONALD, R. I. et al. Estimating watershed degradation over the last century and its impact on water-treatment costs for the world's large cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 113, n. 32, p. 9117–9122, 9 ago. 2016.

MAPA. Zoneamento Agrícola de Risco Climático. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, MAPA. Acessado em junho 2021: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico>

NASPOLINI, G. F. et al. Brazilian Environmental-Economic Accounting for Water: A structural decomposition analysis. *Journal of Environmental Management*, v. 265, p. 110508, jul. 2020.

NIEMEYER, I.; GARRIDO, A. Latin American Agricultural Trade: The Role of the WTO in Sustainable Virtual Water Flows. n. EAAE 2011 Congress. Research Centre for the Management of Agricultural and Environmental Risks (CEIGRAM), Technical University of Madrid, p. 12, 2011.

OCDE. Cobranças pelo uso de recursos hídricos no Brasil: caminhos a seguir. Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, 2017. Disponível em: <<https://www.oecd.org/regional/cobrancas-pelo-uso-de-recursos-hidricos-no-brasil-9789264288423-pt.htm>>.

OCF. Termômetro do Código Florestal. Observatório do Código Florestal, , 2019. Disponível em: <<https://observatorioflorestal.org.br/>>. Acesso em: 12 jan. 2022

OHLSSON, L. Water Conflicts and Social Resource Scarcity. v. Vol. 25, No. 3, 2000a.

OHLSSON, L. The turning of a screw: Social resource scarcity as a bottleneck in adaptation to water scarcity. v. No. 1, n. Stockholm Water Front, 2000b.

POSTEL, S. L.; THOMPSON, B. H. Watershed protection: Capturing the benefits of nature's water supply services. *Natural Resources Forum*, v. 29, n. 2, p. 98–108, maio 2005.

QIN, C. et al. The economic impact of water tax charges in China: a static computable general equilibrium analysis. *Water International*, v. 37, n. 3, p. 279–292, maio 2012.

SANTOS, M. A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção. 4. edição ed. São Paulo, SP: EDUSP, 2002.

SILVA, A. L. DA et al. Water Appropriation on the Agricultural Frontier in Western Bahia and Its Contribution to Streamflow Reduction: Revisiting the Debate in the Brazilian Cerrado. *Water*, v. 13, n. 8, p. 1054, 12 abr. 2021.

TANURE, M. P. T. Mudanças climáticas e agricultura no Brasil: impactos econômicos regionais e por cultivo familiar e patronal. Tese (Doutorado)- Universidade Federal de Minas Gerais, 2020.

TEIXEIRA, A. L. DE F. et al. Operationalizing Water Security Concept in Water Investment Planning: Case Study of São Francisco River Basin. *Water*, v. 13, n. 24, p. 3658, 20 dez. 2021.

TRASE. Supply chain mapping in Trase: Summary of data and methods, 2018. Disponível em: <www.trase.earth>.

TRASE. How Trase assesses ‘commodity deforestation’ and ‘commodity deforestation risk’, 2020. Disponível em: <www.trase.earth>.

TRÉMOLET S. ET AL. Investing in Nature for Europe Water Security. The Nature Conservancy, Ecologic Institute and ICLEI. London, United Kingdom., , 2019.

TYMUS, J. R. C.; LENTI, F. E. B. Restauração de Vegetação Nativa no Brasil: Caracterização de técnicas e estimativas de custo como subsídio a programas e políticas públicas e privadas de restauração em larga escala. n. Brasília (DF): TNC, 2018.

UNEP. Green Infrastructure Guide for Water Management: Ecosystem-based management approaches for water-related infrastructure projects. United Nations Environment Programme, 2014.

UNITED NATIONS (ED.). System of environmental-economic accounting for water: Seawater. New York: United Nations, 2012.

VISENTIN, J. C. O uso da água e a interdependência das economias regionais: o caso das bacias hidrográficas brasileiras. Tese (Doutorado)-Universidade de São Paulo, 2017.

VÖRÖSMARTY, C. J. et al. Fresh water goes global. *Science*, v. 349, n. 6247, p. 478–479, 31 jul. 2015.

VÖRÖSMARTY, C. J. et al. A green-gray path to global water security and sustainable infrastructure. *Global Environmental Change*, v. 70, n. 102344, 2021.

WEF. The Global Risks Report 2021. World Economic Forum. 16th Edition, 2021.

WITTWER, G. (ED.). Economic Modeling of Water: The Australian CGE Experience. Dordrecht: Springer Netherlands, 2012. v. 3

ZHANG, Y. et al. Virtual water flows in the international trade of agricultural products of China. *Science of The Total Environment*, v. 557–558, p. 1–11, jul. 2016.