



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Programa de Pós-Graduação em Economia

AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO ESTADO DE PERNAMBUCO: UMA ABORDAGEM USANDO EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL

Helson Gomes de Souza

João Pessoa - PB
2022

Helson Gomes de Souza

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DISPONIBILIDADE
HÍDRICA NO ESTADO DE PERNAMBUCO: UMA
ABORDAGEM USANDO EQUILÍBRIO GERAL
COMPUTÁVEL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal da Paraíba - UFPB como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutorado em Economia.

Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Programa de Pós-Graduação em Economia

Orientador: Prof. Dr. Aléssio Tony Cavalcanti de Almeida
Coorientador: Prof. Dr. Ignácio Tavares de Araujo Júnior

João Pessoa - PB

2022

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S729a Souza, Helson Gomes de.

Avaliação dos efeitos da disponibilidade hídrica no estado de Pernambuco : uma abordagem usando equilíbrio geral computável / Helson Gomes de Souza. - João Pessoa, 2022.
106 f. : il.

Orientação: Aléssio Tony Cavalcanti de Almeida.
Coorientação: Ignácio Tavares de Araujo Júnior.
Tese (Doutorado) - UFPB/CCSA.

1. Recursos hídricos - Pernambuco. 2. Água - Restrições da oferta. 3. Equilíbrio geral computável.
I. Almeida, Aléssio Tony Cavalcanti de. II. Araujo Júnior, Ignácio Tavares de. III. Título.

UFPB/BC

CDU 556.18(813.4)(043)

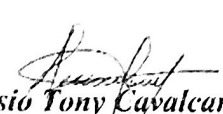


Universidade Federal da Paraíba
Centro de Ciências Sociais Aplicadas
Programa de Pós-Graduação em Economia

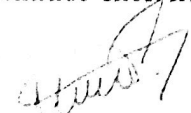
Campus Universitário I – Cidade Universitária – CEP 58.059-900 – João Pessoa – Paraíba
Tel: (83) 3216-7482 – <https://sigaa.ufpb.br/sigaa/public/programa/portal.jsf?id=1875> – E-mail: ppge.ccsa@gmail.com

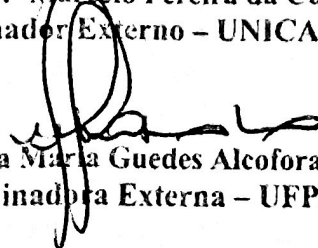
Ata da reunião da Banca Examinadora designada para avaliar o trabalho de tese do doutorando **Helson Gomes de Souza**, submetida para obtenção do grau de doutor em Economia, área de concentração em **Economia Aplicada**.

Aos vinte dias, do mês de abril, do ano dois mil e dois, às quatorze horas, no Programa de Pós-Graduação em Economia, do Centro de Ciências Sociais Aplicadas, da Universidade Federal da Paraíba, reuniram-se, em cerimônia pública, os membros da Banca Examinadora, constituída pelos professores doutores **Aléssio Tony Cavalcante de Almeida** (Orientador), da Universidade Federal da Paraíba; **Ignácio Tavares de Araújo Júnior** (Coorientador), da Universidade Federal da Paraíba; **Wallace Patrick Santos de Farias Souza** (Examinador Interno), da Universidade Federal da Paraíba; **Hilton Martins de Brito Ramalho** (Examinador Interno), da Universidade Federal da Paraíba; **Marcelo Pereira da Cunha** (Examinador Externo), da Universidade de Campinas; **Gerald Norbert Souza da Silva** (Examinador Externo), da Universidade Federal da Paraíba; e **Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes** (Examinadora Externa), da Universidade Federal de Pernambuco, a fim de examinarem o candidato ao grau de doutor em Economia, área de concentração em **Economia Aplicada**, **Helson Gomes de Souza**. Além dos examinadores e do examinando, compareceram também, representantes do Corpo Docente e do Corpo Discente. Iniciando a sessão, o professor **Aléssio Tony Cavalcante de Almeida**, na qualidade de presidente da Banca Examinadora, comunicou aos presentes a finalidade da reunião e os procedimentos de encaminhamento desta. A seguir, concedeu a palavra ao candidato, para que fizesse oralmente a exposição do trabalho, apresentado sob o título: **“AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO ESTADO DE PERNAMBUCO: UMA ABORDAGEM USANDO EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL”**. Concluída a exposição, o senhor presidente solicitou que fosse feita a arguição por cada um dos examinadores. A seguir foi concedida a palavra ao candidato, para que respondesse e esclarecesse às questões levantadas. Terminadas as arguições, a Banca Examinadora passou a proceder à avaliação e ao julgamento do candidato. Em seguida, o senhor presidente comunicou aos presentes que a Banca Examinadora, por unanimidade, **aprovou** a tese apresentada e defendida com o conceito **APROVADO**, concedendo assim, o grau de **Doutor em Economia**, área de concentração em **Economia Aplicada**, ao doutorando **Helson Gomes de Souza**. E, para constar, eu, Ricardo Madeira Cataldi, secretário *ad hoc* do Programa de Pós-Graduação em Economia, lavrei a presente ata, que assino junto com os membros da Banca Examinadora. João Pessoa, 20 de abril de 2022.


Prof. Dr. Aléssio Tony Cavalcanti de Almeida
Orientador – UFPB


Prof. Dr. Wallace Patrick Santos de Farias Souza
Examinador Interno – UFPB


Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha
Examinador Externo – UNICAMP


Prof. Dr. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes
Examinadora Externa – UFPE


Prof. Dr. Ignácio Tavares de Araújo Júnior
Coorientador – UFPB


Prof. Dr. Hilton Martins de Brito Ramalho
Examinador Interno – UFPB


Prof. Dr. Gerald Norbert Souza da Silva
Examinador Externo – UFPB


Ricardo Madeira Cataldi
Secretário *Ad Hoc* – PPGE/ UFPB

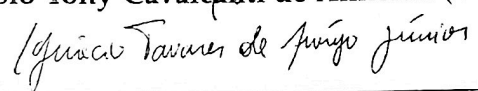
Helson Gomes de Souza

**AVALIAÇÃO DOS EFEITOS DA DISPONIBILIDADE
HÍDRICA NO ESTADO DE PERNAMBUCO: UMA
ABORDAGEM USANDO EQUILÍBRIO GERAL
COMPUTÁVEL**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal da Paraíba como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Economia, submetida à apreciação da Comissão Examinadora abaixo assinada. Defesa realizada no Campus I da UFPB em João Pessoa(online), Paraíba, no dia 20 de março de 2022, às 14:00 horas.



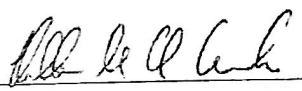
Dr. Aléssio Tony Cavalcanti de Almeida (Orientador)



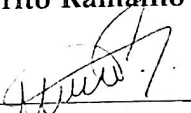
Dr. Ignácio Tavares de Araújo Júnior (Co-orientador)



Wallace Patrick Santos de Farias Souza (Examinador Interno)



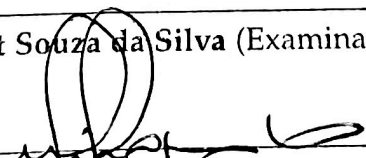
Hilton Martins de Brito Ramalho (Examinador Interno)



Dr. Marcelo Pereira da Cunha (Examinador Externo)



Dr. Gerald Norbert Souza da Silva (Examinador Externo)



Dra. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes
(Examinador Externo)

João Pessoa - PB

2022

Agradecimentos

Inicialmente, agradeço ao criador por me conceder a força necessária para chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais, Francisco Vieira de Sousa e Joana Gomes de Moraes Sousa, por dedicarem, ao longo de mais de 33 anos, todos os seus esforços e o suor do árduo trabalho à educação dos seus filhos.

Agradeço ao meu irmão, Helder Gomes de Sousa, e à sua esposa, Degilânia Lucena, pela amizade, força e por todo o apoio que me forneceram sempre que precisei.

Agradeço à minha namorada, Cristiane Ferreira, por todo o apoio, carinho, dedicação e amizade concedidos à minha pessoa durante todos esses anos de Pós-Graduação.

Meus sinceros agradecimentos ao Professor Otacio Pereira por ter acreditado em mim no final do meu curso de graduação. O meu muito obrigado pelo apoio concedido à minha pessoa.

Agradeço também aos meus professores do PPGER/UFC, Francisco José Silva Tabosa e Edward Martins Costa, por todo o apoio, amizade e confiança, bem como, pelos incentivos a mim concedidos durante o curso de mestrado e principalmente após a conclusão do referido curso.

Deixo registrado os meus sinceros agradecimentos aos meus colegas de Pós-Graduação da UFPB. Em especial, agradeço aos meus amigos Gerrio Barbosa e Daniel Tomaz pela acolhida em João Pessoa e pela inesquecível convivência que compartilhamos. Estendo estes agradecimentos também ao meu amigo Rômulo Eufrosino.

Agradeço também aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Economia da UFPB por todo o conhecimento repassado. Em especial, agradeço ao professor Cassio Besarria pela acolhida nos momentos difíceis que passei durante a realização do curso. Estendo estes sinceros agradecimentos ao professor Jevuks Matheus pelo apoio na reta final do curso.

Meus sinceros agradecimentos ao meu orientador, Professor Aléssio Tony, e ao meu co-orientador, Professor Ignácio Tavares, pelas orientações concedidas, pela confiança e pela paciência.

Por fim, agradeço aos pagadores de impostos da sociedade brasileira, a Agência Nacional de Águas (ANA) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por conceder o apoio necessário ao financiamento dos meus estudos.

Resumo

Este trabalho objetiva elaborar um modelo de equilíbrio geral que possa auxiliar na tomada de decisão e na gestão dos recursos hídricos no Agreste/Leste Pernambucano que compõe o território das bacias dos rios Ipojuca, Capibaribe e Una. Para tanto, foram considerados 58 setores econômicos e quatro tipos de famílias para modelar uma pequena economia representativa da área de estudo. O cenário base do modelo é baseado nos fluxos contábeis da área de interesse referentes ao ano de 2011 com base em dados dispostos na literatura, na Pesquisa de Orçamentos Familiares e no Censo Populacional de 2010. O modelo busca representar uma economia local composta por famílias, firmas, governo e o setor externo o qual é composto pelo resto do Brasil e o resto do Mundo. O modelo é fundamentado na hipótese de que as firmas representativas necessitam do uso da água em seu processo de produção, considerando, para tanto, que a água compõe o capital das firmas, o qual é modelado sob diferentes óticas para as empresas agrícolas e não agrícolas. Foram considerados quatro cenários que visam simular diferentes medidas de gestão dos recursos hídricos na área de estudo. Os resultados obtidos mostram que uma restrição global da disponibilidade de água sem uma medida auxiliar de gestão no Agreste/Leste pernambucano gera perdas de produto (0,46%), renda (0,41%) e bem-estar social (0,2%), tendo maiores efeitos sobre os pobres residentes nas áreas rurais. Além disso, os resultados permitiram concluir que uma realocação da oferta de água da agricultura e do setor de serviços para manter constante o montante de água disponibilizado para a indústria em um cenário de redução da disponibilidade hídrica intensifica as perdas de produto em (0,53%), renda (0,72% para os pobres do meio rural, 0,35% para os não pobres do meio rural, 0,47% para os pobres do meio urbano e 0,37% para os não pobres do meio urbano) e bem-estar (1,13% para os pobres do meio rural, 0,30% para os não pobres do meio rural, 0,21% para os pobres do meio urbano e 0,36% para os não pobres do meio urbano) obtidas com a restrição global de disponibilidade hídrica de 14,3%. Os achados ainda sugerem que quando a restrição global de disponibilidade hídrica é executada em junção com uma realocação da água disponível para com a indústria e o setor de serviços com o propósito de beneficiar a agricultura, ocorrem ganhos de produção para as firmas agrícolas (3,29%), mas acarreta em perdas de produção para a indústria (4,99%) e para o setor de serviços (0,13%). Além disso, os resultados sugerem que as perdas de produto, renda e bem-estar social podem ser reduzidas com um choque positivo de produtividade das firmas. Por fim, o MEGC construído neste trabalho possibilita aos tomadores de decisão o entendimento de possíveis respostas dos indicadores socioeconômicos em razão das alterações na disponibilidade de água, contribuindo para a elaboração de futuras medidas de gestão dos recursos hídricos no Agreste/Leste pernambucano e regiões vizinhas.

Palavras-chave: Recursos Hídricos; Restrições de oferta de água; Equilíbrio Geral Computável; Pernambuco.

Abstract

This work aims to develop a general equilibrium model that can assist in decision-making and in water resources management in the Agreste/East of Pernambuco, which makes up the territory of the Ipojuca, Capibaribe, and Una river basins. For this purpose, I considered 58 economic sectors and four types of families to model a small economy representative of the study area. I prepared the reference scenario of the model based on the accounting flows of the region of interest to 2011. For this purpose, I used the data provided in the literature, in the Household Budget Survey and in the 2010 Population Census. The model aims to represent a local economy made up of families, firms, government and the external sector, which is made up of the rest of Brazil and the rest of the world. I developed the model based on the hypothesis that representative firms need the use of water in their production process, considering, therefore, that water makes up the capital of firms, which in turn is modeled from different perspectives for agricultural and non-agricultural firms. I considered four scenarios that aim to simulate different water resources management measures in the study area. The results I obtained show that a global restriction of water availability without an auxiliary management measure in the Agreste/East of Pernambuco generates product losses (0.46%), income (0.41%) and social welfare (0.2%), having greater effects on the poor residing in rural areas. In addition, the results suggest that a reallocation of water supply from agriculture and the service sector to keep the amount of water available to industry constant in a scenario of reduced water availability intensifies product losses by (0.53%), income (0.72% for the rural poor, 0.35% for the rural non-poor, 0.47% for the urban poor and 0.37% for the non-poor urban poor) and well-being (1.13% for the rural poor, 0.30% for the rural non-poor, 0.21% for the urban poor and 0.36 % for the non-poor in urban areas) obtained with the global restriction of water availability of 14.3%. The results also suggest that when the global restriction of water availability is performed in conjunction with a reallocation of water from industry and the service sector with the purpose of benefiting agriculture, production gains occur for agricultural firms (3.29%), but results in production losses for industry (4.99%) and for the service sector (0.13%). Furthermore, the results suggest that output, income and social welfare losses can be reduced with a positive productivity shock for firms. Finally, the MEGC built in this work enables decision makers to understand possible responses of socioeconomic indicators due to changes in water availability, contributing to the development of future water resources management measures in the Agreste/East of Pernambuco and neighboring regions.

Palavras-chave: Water resources; Water supply restrictions; Computable General

Equilibrium; Pernambuco.

Lista de tabelas

Tabela 1 – Dados das famílias consideradas na MCS.	58
Tabela 2 – Setores da matriz de contabilidade social.	97
Tabela 3 – Municípios da área de estudo.	100
Tabela 4 – Descrição das variáveis que compõem o modelo.	103
Tabela 5 – Descrição dos parâmetros que compõem o modelo.	105

Lista de ilustrações

Figura 1 – Delimitação da área de estudo.	36
Figura 2 – Representação simplificada de um modelo básico de Equilíbrio Geral Computável.	49
Figura 3 – Proporção de pobres em Pernambuco e no Brasil.	52
Figura 4 – Consumo setorial das famílias.	57
Figura 5 – Valor da remuneração e do excedente operacional bruto por setor. .	59
Figura 6 – Demanda por água no cenário base.	60
Figura 7 – Efeitos de uma restrição global da oferta de água sobre a produção setorial.	63
Figura 8 – Efeitos de uma restrição da oferta de recursos hídricos sobre a renda das famílias.	65
Figura 9 – Efeitos de uma restrição da oferta de recursos hídricos sobre o bem-estar das famílias.	67
Figura 10 – Efeitos de uma restrição na oferta de água sobre a produção setorial (Cenário 2).	71
Figura 11 – Efeitos de uma restrição na oferta global de água sobre a renda das famílias (Cenário 2).	72
Figura 12 – Efeitos de uma restrição da oferta de água sobre o bem-estar das famílias (Cenário 2).	74
Figura 13 – Efeitos de uma restrição da oferta de água sobre a produção setorial (Cenário 3).	76
Figura 14 – Efeitos de uma restrição na oferta de água sobre a renda das famílias (Cenário 3).	77
Figura 15 – Efeitos de uma restrição da oferta de água sobre o bem-estar das famílias (Cenário 3).	79
Figura 16 – Efeitos de um choque de produtividade em um cenário de restrição da oferta de água sobre a produção setorial (Cenário 4).	81
Figura 17 – Efeitos de um choque de produtividade em um cenário de restrição da oferta de água sobre a renda das famílias (Cenário 4).	82
Figura 18 – Efeitos de um choque de produtividade em um cenário de restrição da oferta de água sobre o bem-estar das famílias (Cenário 4).	83
Figura 19 – Representação da estrutura do modelo para o bloco 1 (Tecnologia de produção e demanda por fatores) para setores não agrícolas. . .	107
Figura 20 – Representação da estrutura do modelo para o bloco 1 (Tecnologia de produção e demanda por fatores) para setores agrícolas.	107

Figura 21 – Representação da estrutura do modelo para os blocos 2 (Renda) e 3 (Demanda e poupança).	108
Figura 22 – Representação da estrutura do modelo para o bloco 4 (Comércio). .	108
Figura 23 – Localização geográfica das bacias hidrográficas estudadas.	109

Lista de abreviações

ANA Agência Nacional de Águas

CES Elasticidade de Substituição Constante

CET Elasticidade de Transformação Constante

DEA Análise Envoltória de Dados

FEP Fronteira Estocástica de Produção

GTAP Global Trade Analysis Project

HH1 Famílias pobres residentes no meio rural

HH2 Famílias não pobres residentes no meio rural

HH3 Famílias pobres residentes no meio urbano

HH4 Famílias não pobres residentes no meio urbano

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MCS Matriz de Contabilidade Social

MEGC Modelo de Equilíbrio Geral Computável

MIP Matriz Insumo-Produto

PE Pernambuco

PIB Produto Interno Bruto

PNAD Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNRH Política Nacional de Recursos Hídricos

POF Pesquisa de Orçamentos Familiares

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	Justificativa do estudo	19
1.2	Problemática do estudo	20
1.3	Objetivos	20
1.3.1	Objetivo geral	20
1.3.2	Objetivos específicos	20
2	REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1	Recursos hídricos: Oferta, alocação e desempenho econômico	21
2.2	Ferramentas de apoio gestão dos recursos hídricos: Revisão empírica	23
2.2.1	Técnicas de otimização nos estudos sobre recursos hídricos	24
2.2.2	A modelagem de insumo-produto	28
2.2.3	Os modelos de equilíbrio geral computável	31
3	METODOLOGIA	35
3.1	Área de estudo	35
3.2	Equilíbrio Geral Computável	36
3.2.1	Pressupostos	38
3.2.2	Estrutura do modelo	39
3.2.2.1	Tecnologia de produção e demanda por fatores	39
3.2.2.2	Renda	41
3.2.2.3	Demanda e poupança	42
3.2.2.4	Comércio	43
3.2.2.5	Preços	46
3.2.2.6	Fechamento do modelo	47
3.3	Matriz de contabilidade social (MCS)	50
3.4	Consumo setorial da água	52
3.5	Simulações	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	56
4.1	Análise dos dados no cenário base	56
4.2	Resultados das simulações	60
4.2.1	Efeitos de uma restrição global da disponibilidade hídrica (Cenário 1)	61
4.2.2	Realocação da água entre as firmas representativas (Cenário 2)	67
4.2.3	Realocação da água entre as firmas representativas (cenário 3)	74
4.2.4	Choque de produtividade (cenário 4)	79

5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
	REFERÊNCIAS	88
6	APÊNDICES	97

1 Introdução

A disponibilidade hídrica é uma condição que, em muitas ocasiões, viabiliza o desenvolvimento de grande maioria das atividades econômicas. Não obstante, a disponibilidade hídrica é um dos principais fatores que se leva em consideração no que diz respeito à instalação e desenvolvimento de muitas atividades. Nesse sentido, embora a disponibilidade hídrica não seja uma condição necessária para o desenvolvimento econômico, a instalação de atividades mais dependentes do uso da água em regiões com baixa capacidade de oferta hídrica requer uma melhor capacidade de gestão e planejamento do uso econômico da água, uma vez que, suprir a demanda de um setor específico pode ser uma ação que ocorra em detrimento do uso da água e do consequente desempenho econômico das firmas que compõem os demais setores (EDWARDS; YANG; AL-HMOUD, 2005; HURD; ROUHI-RAD, 2013; SOPHOCLEOUS, 2004).

Dada a disponibilidade limitada da água, o desenvolvimento econômico passa a depender não apenas da oferta local de recursos hídricos, mas também de o quanto será demandado e de o quão eficiente o uso econômico da água será. Um exemplo clássico que justifica tal afirmação é o consumo de água do setor agrícola. Chartzoulakis e Bertaki (2015) indicam que a agricultura é responsável por cerca de 70% do consumo global de água, sendo que, as atividades irrigadas demandam a maior quantidade de água usada neste setor. Nesse sentido, é necessário que haja uma gestão adequada da distribuição da água, principalmente em regiões com maior limitação da disponibilidade hídrica, do contrário, Ohlsson (2000) alerta para a possibilidade de aparecimento de conflitos sociais decorrentes da disputa pelo direito do uso da água, os quais ocorreriam principalmente em locais de maior escassez recursos hídricos.

Contudo, mesmo em regiões com potencial de disponibilidade hídrica elevado, a distribuição dos recursos hídricos pode não implicar em uma alocação economicamente eficiente, uma vez que, fatores como as características climáticas e a desigualdade regional na demanda hídrica provinda das atividades econômicas podem levar ao surgimento de algumas regiões com maior estresse hídrico. No Brasil, por exemplo, onde está localizada cerca de 10% da água doce do planeta, os recursos hídricos são desigualmente distribuídos no território nacional, de modo que, apenas a região Amazônica, habitada por cerca de 4% da população brasileira, detém aproximadamente 73% da água doce do país (TELLES, 2012). Tal estatística incide sobre a distribuição da produção nacional, principalmente de atividades em que o desempenho produtivo está diretamente ligado ao uso da água.

O desenvolvimento regional no Nordeste brasileiro possui uma elevada dependência da disponibilidade hídrica, ao ponto de Bronstert et al. (2000) citarem a escassez de água como sendo a maior restrição que limita o desenvolvimento da referida região. Dadas as características climáticas da região em questão, Broad et al. (2007) citam a realocação dos recursos hídricos como sendo uma das medidas de maior impacto no crescimento de alguns setores no Nordeste brasileiro.

Em se tratando da região Nordeste do Brasil, algumas áreas em específico ganham destaque no que diz respeito ao uso econômico da água. A economia do Agreste pernambucano, por exemplo, possui uma grande dependência da disponibilidade hídrica, uma vez que as principais atividades econômicas desempenhadas nesta região realizam funções bastante intensivas no uso dos recursos hídricos, como o cultivo de cana-de-açúcar e a produção e beneficiamento de produtos oriundos do setor têxtil, por exemplo, tendo a água como o principal fator de produção (VIANA et al., 2018; SILVA et al., 2019). Dentre as principais atividades desenvolvidas na região, o beneficiamento têxtil (principalmente no que diz respeito às lavanderias de tecidos) demanda uma grande quantidade de água para o seu funcionamento, tendo uma elevada sensibilidade à disponibilidade de recursos hídricos (VIANA et al., 2018), de modo que, a necessidade de uso da água neste setor tendem a crescer quando as firmas ampliam a sua capacidade de produção (ROCHA et al., 2021).

No estado de Pernambuco o cultivo de cana-de-açúcar é uma das principais atividades que constituem a economia local, de modo que, assim como o beneficiamento têxtil, o desenvolvimento desta atividade está bastante associada à disponibilidade hídrica. Em 2011 (ano de elevada captação de água), por exemplo, o valor bruto da produção na referida atividade representou cerca de 46% da produção agrícola do estado, enquanto em 2012 (ano com baixa captação de água no estado de Pernambuco) o valor bruto da produção do cultivo de cana-de-açúcar passou a representar apenas cerca de 34% do valor bruto da produção agrícola estadual¹. No referido estado esta atividade encontra-se concentrada principalmente na região Leste, tendo as suas necessidades hídricas supridas em grande parte pela vazão dos principais rios da região, como o rio Ipojuca, por exemplo (GUNKEL et al., 2007).

É importante destacar que as economias com grande presença do cultivo de cana-de-açúcar geralmente possuem uma ampla cadeia produtiva que vai além da produção e refino do açúcar, sendo responsável por fornecer a oferta de produtos derivados do setor canavieiro como o melaço, a aguardente, o adubo, a co-geração de energia elétrica, os variados tipos de ração animal, a celulose e o vinhoto, por exemplo (CARVALHO; OLIVEIRA, 2006). Em relação ao beneficiamento têxtil, apesar de esta atividade compor os estágios finais da cadeia produtiva do setor têxtil, o seu produto

¹ Informações extraídas da Pesquisa Agrícola Municipal (IBGE, 2020).

provém o suprimento dos recursos necessários para a oferta do produto final da referida cadeia produtiva, sendo fundamental para o suprimento da demanda regional por produtos advindos do setor têxtil. Além disso, destaca-se o fato de que uma série de atividades desenvolvidas em outros setores econômicos fornecem insumos para o beneficiamento têxtil, fazendo com que o setor tenha uma grande participação direta e indireta no desempenho econômico regional (COSTA; ROCHA, 2009).

Dada a intensa presença da água na economia do Agreste e do Leste pernambucano, as atividades econômicas desenvolvidas na região estão expostas à variabilidade hídrica e à sazonalidade dos aportes hídricos que ocorre na maioria do território do Nordeste brasileiro. Como exemplo, Cunha et al. (2019) deram destaque para a estiagem prolongada que atingiu a grande maioria dos municípios do Nordeste do Brasil desde o ano de 2012 até o ano de 2017, incluindo o Agreste e Leste de Pernambuco. Esta exposição às variações climáticas conduz à necessidade da elaboração de ferramentas que permitam adaptar a gestão de recursos hídricos da referida região às possíveis ocorrências de períodos de escassez hídrica.

Visto isso, e dada a elevada dependência direta e indireta das atividades desenvolvidas pelos principais setores econômicos do Agreste/Leste pernambucano para com a disponibilidade hídrica, espera-se que a oferta da água para fins econômicos, os padrões de distribuição setorial da água e a política de gestão dos recursos hídricos sejam fatores de grande importância para o desempenho econômico do Agreste/Leste pernambucano. Além disso, é natural esperar que os choques exógenos na oferta hídrica resultem em efeitos diretos sobre o desempenho econômico dos setores mais dependentes da oferta hídrica e em efeitos indiretos sobre as atividades que apresentam uma menor dependência do uso da água. Dadas estas considerações, é de fundamental importância a busca por ferramentas que possibilitem a antecipação de respostas dos tomadores de decisão e o melhoramento da criação de medidas administrativas para com eventuais mudanças no perfil da disponibilidade hídrica no Agreste/Leste pernambucano.

Este trabalho está centrado na produção de um modelo de equilíbrio que possa fornecer evidências dos efeitos de possíveis práticas administrativas para com a gestão de recursos hídricos do Agreste/Leste pernambucano. De uma maneira geral, os modelos de equilíbrio voltados para a questão da disponibilidade hídrica são focados nos efeitos das restrições de oferta de água sobre a produção, como pode ser visto em Berrittella et al. (2007), Berrittella et al. (2008), Roson (2019), Wittwer (2019) e Ferrarini et al. (2019), por exemplo. Esta tese de doutorado se diferencia dos demais trabalhos já dispostos na literatura por examinar os efeitos da disponibilidade hídrica e de possíveis políticas de gestão dos recursos hídricos não apenas sobre os indicadores de produção, mas também sobre indicadores socioeconômicos da área de estudo. Além disso, este

trabalho também contribui com a literatura no sentido de realizar uma integração de resultados advindos de abordagens distintas para modelar as relações intersetoriais de uso da água na economia da área de estudo.

1.1 Justificativa do estudo

A importância do desenvolvimento desta tese de doutorado, bem como o motivo pelo qual a utilização deste tema deve ser explorado estão amparados em três justificativas principais:

(i) O montante de recursos públicos destinado às medidas de combate aos efeitos da escassez hídrica na região aqui abordada deve ser despendido com o maior grau de eficácia possível. Assim, os estudos realizados na linha de pesquisa aqui abordada fornecem evidências científicas que auxiliam nas tomadas de decisão mais precisas e eficientes, implicando em uma intervenção mais pontual e uma maior eficiência no funcionamento das políticas públicas voltadas para os problemas hídricos.

(ii) A literatura dispõe de alguns estudos que tratam da alocação de recursos hídricos no Nordeste brasileiro e que abordam esta questão por meio da teoria do equilíbrio geral. Estes estudos, contudo, são realizados de uma maneira bem generalizada, com foco em resultados globais sobre o produto. O presente estudo diferencia-se dos demais estudos disponíveis na literatura por tratar de uma região específica do Nordeste brasileiro, e elaborar um modelo que possibilite capturar os efeitos das políticas de gestão de recursos hídricos sobre indicadores sociais e econômicos da área de estudo.

(iii) Diferentemente dos demais estudos sobre o uso dos recursos hídricos, esta tese possui uma integração metodológica com diferentes ferramentas de estudo direcionadas para o Agreste/Leste pernambucano. De maneira específica, este estudo une as técnicas de insumo-produto e as ferramentas de otimização utilizadas em estudos anteriores com os modelos de equilíbrio geral computável, possibilitando a integração dos resultados disponíveis na literatura com os critérios econômicos dos modelos de equilíbrio geral.

(iv) Os resultados aqui encontrados poderão servir de base para a tomada de decisão das autoridades gestoras dos recursos hídricos para com a distribuição das águas advindas de políticas como a transposição do Rio São Francisco e a adutora do Agreste.

1.2 Problemática do estudo

Os conceitos apresentados evidenciam que a política de gestão de recursos hídricos desempenha um importante papel na economia do Agreste/Leste pernambucano, uma vez que a gestão da disponibilidade hídrica atua sobre um dos principais mecanismos que determinam a produção da referida região. Neste sentido, esta tese de doutorado busca fornecer uma resposta para o questionamento sobre como eventuais medidas de gestão de recursos hídricos atuam sobre os indicadores socioeconômicos do Agreste/Leste pernambucano em um cenário de necessidade da limitação da disponibilidade hídrica. Em outras palavras, este trabalho busca responder quais são os efeitos socioeconômicos de possíveis medidas de gestão dos recursos hídricos que visem garantir o abastecimento de água frente a um cenário de restrição na disponibilidade hídrica do Agreste/Leste pernambucano.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O principal objetivo desta tese é elaborar um modelo de equilíbrio geral integrado a uma plataforma de modelos econômicos já existente para o Agreste/Leste pernambucano que possa auxiliar na tomada de decisão e na gestão dos recursos hídricos da região.

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar uma ferramenta que forneça respostas sobre os efeitos socioeconômicos de possíveis instrumentos de gestão da oferta de recursos hídricos no Agreste/Leste pernambucano.
- Simular um cenário de restrição da oferta de recursos hídricos no Agreste/Leste pernambucano.
- Obter os efeitos socioeconômicos de uma realocação da oferta setorial de água no Agreste/Leste Pernambuco.
- Simular os efeitos socioeconômicos de eventuais medidas de gestão dos recursos hídricos no Agreste/Leste pernambucano.
- Estudar os efeitos de um choque de produtividade sobre as variáveis socioeconômicas no Agreste/Leste pernambucano.
- Fornecer evidências que possam atuar na tomada de decisão acerca da gestão do uso dos recursos hídricos no Agreste/Leste Pernambuco.

2 Revisão da literatura

Esta seção destina-se à exposição de constatações, resultados e conclusões extraídas de trabalhos publicados e disponibilizados na literatura, os quais servirão como base teórica para a construção desta tese de Doutorado e fornecerão apoio literário para os resultados apresentados nas seções subsequentes.

2.1 Recursos hídricos: Oferta, alocação e desempenho econômico

A água aparece de maneira direta ou indireta como matéria-prima necessária para a produção da grande maioria dos produtos, condicionando a ampliação da capacidade produtiva local à possibilidade de consumo suficiente deste recurso. Como a oferta da água é condicionada às restrições naturais de disponibilidade, o produto final estará restrito ao consumo disponível dos recursos hídricos. Hiniker (1999), Ohlsson (2000), Seung et al. (2000), Sneddon (2002), Amery e Wiley (2003) e Kucukmehmetoglu e Guldmann (2004) fundamentam seus estudos no fato de que a gestão inadequada dos recursos hídricos é um dos principais motivos pelos quais estas restrições produtivas associadas às limitações no uso dos recursos hídricos viabilizam a existência de conflitos pautados nas diferenças de uso da água, onde um agente econômico disputa o consumo da água com os demais agentes econômicos e com a sociedade em geral.

Lemos e de Oliveira (2004) explicam que uma alocação inadequada dos recursos hídricos geralmente tende a gerar subabastecimento de alguns setores e centralização do uso da água, o que proporciona a criação de conflitos em disputa deste recurso. Neste sentido, a descentralização dos recursos hídricos e uma distribuição mais eficiente do uso da água demandaria a implementação de medidas efetivas de descentralização do consumo da água. Agrawal (1999), Larson (2002), Ribot (2003) e Lemos e de Oliveira (2004) indicam que este processo depende de um conjunto de fatores, tais como regulamentação adequada, disponibilidade de capital social e educação cívica, definição e implementação de esquemas de participação, criação de mecanismos de mediação de conflitos, disponibilidade de recursos humanos e financeiros, a participação efetiva dos incentivos políticos e a capacidade local e compromisso ambiental.

Neste sentido, Knapp e Baerenklau (2006), Pahl-Wostl et al. (2008), e Wheeler e Evans (2009) tratam a gestão adequada dos recursos hídricos como passo fundamental

para a solução de conflitos econômicos, resolução de problemas socioambientais e minimização das distorções climáticas advindas da intensidade dos processos de crescimento econômico. Ainda falando a respeito do gerenciamento adequado dos recursos hídricos, Birol, Koundouri e Kountouris (2008) esclarece que uma gestão baseada na alocação eficiente dos recursos hídricos é fundamental para que os problemas advindos das restrições do uso da água sejam solucionados. Para tanto, os referidos autores atentam para o fato de que é preciso ter pleno conhecimento dos fatores determinantes do uso e do não uso da água para que se possa maximizar os efeitos esperados das políticas alocativas.

Em locais subdesenvolvidos, principalmente em economias majoritariamente primárias, onde a agricultura é tida como principal atividade econômica. As diferenças entre a demanda hídrica para fins econômicos e a correspondente oferta, bem como as restrições de uso da água advindos de finalidades naturais ou alocativas provocam consequências mais intensas sobre o desempenho econômico. Tais consequências vão desde as perdas de produtividade até a elevação no valor final da produção e o consequente desequilíbrio comercial (BERRITTELLA et al., 2007). Karimi e Ardakanian (2010) ressaltam que além do cenário econômico, as deficiências alocativas afetam também os componentes sociais locais, o que impõe aos formuladores de políticas públicas uma maior exigência por políticas alocativas eficientes.

No Brasil, um dos principais esforços da gestão pública para garantir uma alocação adequada dos recursos hídricos de modo a assegurar a oferta em níveis satisfatórios está nas garantias impostas na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Em suas especificações básicas, a PNRH reconhece a água como um recurso escasso e dotada de valor econômico, o qual provém do fato de que todo recurso escasso acaba por afetar as relações econômicas, e dessas pode-se estimar seu valor econômico. Como consequência básica da valoração econômica da água, a demanda suprimida deste recurso para as primeiras necessidades da vida humana onera os que por essa condição são afetados, ônus derivado da necessidade de buscar água cada vez mais longe e, por isso, com custos cada vez maiores, limitando, consequentemente, o potencial econômico das áreas afetadas (LANNA, 2008).

Em relação ao Nordeste brasileiro, a literatura aponta para uma desigualdade recorrente na distribuição dos recursos hídricos e uma histórica relação inversa entre o desempenho econômico e a disponibilidade hídrica na região. Os resultados disponíveis em tais estudos demonstram que ao longo do tempo, o perfil da distribuição hídrica da região interferiu não apenas na capacidade produtiva, mas também em fatores demográficos (DELAZERI; CUNHA; OLIVEIRA, 2021), na saúde pública (CAPRARA et al., 2009), na mortalidade infantil (GAMPER-RABINDRAN; KHAN; TIMMINS, 2010) e na pobreza (CAMPOS, 2015), por exemplo.

Para Aleixo et al. (2019) já houve um avanço relativamente significativo no que diz respeito a melhora na distribuição e acesso dos recursos hídricos no Nordeste brasileiro. O referido autor destaca, contudo, que a região ainda é carente de uma infraestrutura hídrica que garanta o acesso à água na região, principalmente no que diz respeito ao consumo humano. Ainda considerando o trabalho de Aleixo et al. (2019) os autores indicam que a infraestrutura hídrica é necessária para trazer mais igualdade no acesso aos recursos hídricos e potencializar o desenvolvimento econômico do Nordeste brasileiro, mas não é uma condição suficiente para tal.

Em concordância com os autores anteriormente citados, Campos (2015) destaca que muito foi feito no tocante às políticas de enfrentamento das restrições hídricas na região Nordeste do Brasil. No entanto, o referido autor destaca que a maioria destas medidas foram voltadas para o combate aos efeitos das causas naturais da escassez de recursos hídricos, como a seca e o clima local predominantemente semiárido. Com um longo período de políticas voltadas para controle das peculiaridades climáticas e da decorrente escassez hídrica na região, atualmente as políticas alocativas provavelmente podem receber uma maior prioridade, o que abre uma discussão acerca de como esta alocação dos recursos hídricos deve ocorrer.

Embora não faça uma análise setorial ampla, Russ (2020) analisa os efeitos de uma mudança na oferta dos recursos hídricos sobre a produção global. Os principais resultados encontrados pelo referido autor demonstram que a produção é diretamente relacionada com a oferta de recursos hídricos e que nos períodos em que a oferta hídrica é menor do que a média histórica, o crescimento econômico local é reduzido. Em relação aos efeitos setoriais de um choque de disponibilidade hídrica, (RUSS, 2020) analisa particularmente dois setores, o setor agrícola e o setor de produção de energia. O autor conclui que um choque negativo de oferta causa uma queda no crescimento econômico decorrente do setor agrícola, concluindo também que os a perda de crescimento econômico decorrente este choque é maior em áreas mais urbanizadas com maior dependência do setor de geração de energia.

2.2 Ferramentas de apoio gestão dos recursos hídricos: Revisão empírica

A quantidade limitada para uso, associado à essencialidade dos recursos hídricos para com o desenvolvimento de muitas atividades econômicas leva à necessidade de uma gestão eficiente dos recursos hídricos que possibilite o suprimento adequado da demanda pelo uso econômico da água. Neste sentido, algumas ferramentas metodológicas são utilizadas na literatura como uma maneira de fornecer evidências sobre possíveis práticas administrativas relacionadas a questão da oferta e demanda

por água. Como exemplo, as técnicas de insumo-produto é bastante difundida na literatura e auxilia no planejamento de medidas de gestão dos recursos hídricos, como pode ser visto nos estudos de Lenzen e Foran (2001), Duarte, Sánchez-Chóliz e Bielsa (2002), Velázquez (2006), Mubako, Lahiri e Lant (2013), Wang et al. (2013), Llop (2013), Zhang e Anadon (2014), Owen, Scott e Barrett (2018) e Liu et al. (2020).

Em concordância com as ferramentas de insumo-produto, a modelagem de equilíbrio é uma ferramenta bastante utilizada quando se busca encontrar uma resposta prévia para os efeitos econômicos de instrumentos de gestão dos recursos hídricos, podendo ser encontrada, por exemplo, nos estudos de Berrittella et al. (2007), Liu, Hertel e Taheripour (2016), Hertel e Liu (2019) e Roson (2019). Além desta ferramenta, a modelagem de otimização com base nas redes de oferta e demanda de água é comumente utilizada na literatura com a finalidade de mensurar a oferta hídrica ótima, podendo ser visualizada, por exemplo, nos estudos de Deuerlein (2008), Kadu, Gupta e Bhawe (2008), Yazdani, Otoo e Jeffrey (2011), Jung, Choi e Kim (2016) e Nardo et al. (2018). Outras ferramentas metodológicas também são utilizadas com esta mesma finalidade como as variadas técnicas de otimização, técnicas de programação linear e não linear, estimativas estatísticas, etc. O objetivo desta subseção é mostrar como estas técnicas metodológicas são utilizadas na literatura como ferramenta de apoio à tomada de decisão referente à gestão dos recursos hídricos de modo a fundamentar a escolha do método abordado neste trabalho.

2.2.1 Técnicas de otimização nos estudos sobre recursos hídricos

As ferramentas disponibilizadas pela otimização matemática são bastante utilizadas na literatura que trata dos recursos hídricos. Basicamente, estas técnicas são usadas em uma busca pelos volumes ótimos de oferta ou demanda por água em ocasiões específicas, ao passo que, também possuem grande utilidade quando se busca o equilíbrio ótimo entre oferta e demanda por água. Neste âmbito, a literatura dispõe de um conjunto de estudos que utilizam as mais variadas técnicas de otimização para resolver diferentes questionamentos voltados para a questão dos recursos hídricos. O estudo de Nicklow (2000), por exemplo, propõe que alguns métodos de controle ótimo discreto podem auxiliar na elaboração de medidas de gestão de recursos hídricos, bem como facilitar o planejamento e execução de ferramentas associadas ao uso eficiente da água.

As técnicas de otimização também são utilizadas com a finalidade de obter um mecanismo de alocação eficiente dos recursos hídricos. Como exemplo, Shangguan et al. (2002) desenvolveram um modelo que possibilitava a obtenção da alocação ótima da água para a irrigação a depender da necessidade do uso em períodos de escassez dos recursos hídricos. Para tanto, os requerimentos hídricos de cada cultura e de cada

unidade de produção foram modelados pelos autores de acordo com problemas de otimização restrita, onde as funções objetivo de cada problema estavam sujeitas às restrições de recursos, dentre elas, as limitações de oferta hídrica teoricamente advindas de períodos de escassez hídrica. Este procedimento possibilitaria a obtenção da demanda ótima por água em cada um dos setores estudados, fornecendo uma medida precisa para uma alocação eficiente da água na agricultura irrigada em períodos de disponibilidade hídrica limitada.

A otimização também é usada no âmbito da gestão dos recursos hídricos no sentido de mensurar a oferta ótima de água necessária para satisfazer as necessidades hídricas dos setores produtivos em cenários de escassez hídrica. Neste sentido, Alaya et al. (2003) buscaram identificar uma regra ótima que permitiria melhorar a gestão dos recursos hídricos de reservatórios localizados em ambientes de condições áridas. Este procedimento levaria em consideração dois pontos principais, a satisfação da demanda de água para com as atividades produtivas e a garantia de um armazenamento mínimo de água no reservatório. Para este propósito, os autores modelaram os componentes da oferta e demanda hídrica de um reservatório em específico de acordo com problemas de programação dinâmica estocástica. A regra ótima identificada neste procedimento permitiria estimar o volume de liberação de água necessário para satisfazer as demandas dos setores produtivos considerando o armazenamento de água e a situação hídrica do período de decisão, fornecendo informações pontuais e objetivas para a tomada de decisão acerca oferta de água por meio dos reservatórios localizados em ambientes de condição árida.

A otimização também é frequentemente utilizada nos estudos que tratam dos recursos hídricos com o objetivo de obter um sistema ótimo de abastecimento de água em uma determinada cadeia produtiva. Deuerlein (2008), por exemplo, supõe que os vários pontos de demanda por água estão interligados de acordo com uma rede de oferta hídrica, ao longo da qual estão concentrados os agentes que compõem a cadeia produtiva da região e constituem a demanda por água. A ideia é que os demandantes de recursos hídricos possuem necessidades semelhantes a depender do ponto de conectividade da rede e que cada ponto de oferta deve suprir a demanda por água ao longo da distribuição da rede. Assim, uma decomposição da rede pode ser feita a partir da resolução de problemas de otimização restrita para cada um dos pontos de demanda. A resolução dos problemas de otimização permite que se obtenha uma oferta ótima para cada ponto ao longo da rede de demanda, possibilitando a obtenção de informações necessárias para a política de gestão hídrica no local específico da rede de demanda. Esta técnica é comumente denominada como otimização por meio de rede de nós e links de oferta de água na literatura. Esta nomenclatura está associada ao fato de que os nós de oferta representam os pontos de abastecimento (oferta) hídrica, por exemplo, reservatórios, tanques de armazenamento e junções hidráulicas; ao passo

que a rede representa os artefatos físicos que ligam os vários pontos de oferta de água, como tubulações, por exemplo.

A maneira como as redes de nós e links de oferta hídrica são modeladas depende dos vários fatores que compõem o abastecimento hídrico. É importante esclarecer, portanto, que os sistemas ótimos de abastecimento obtidos com os processos de otimização por meio das redes de oferta hídrica são bastante variados na literatura, com diferentes maneiras de representar tanto as redes de abastecimento quanto os problemas de otimização de cada ponto de oferta no decorrer da rede. Kadu, Gupta e Bhave (2008), por exemplo, construíram uma rede de abastecimento a partir de problemas de otimização restrita com a possibilidade de penalização das demandas por água em cada nó da rede. Segundo os referidos autores, esta abordagem possibilita a obtenção de valores ótimos mais eficientes quando comparado aos métodos tradicionais de construção de redes de nós e links de abastecimento de água, como a abordagem de Deuerlein (2008), por exemplo. Neste caso, as informações obtidas a partir do suprimento ótimo da água poderiam fornecer informações mais precisas sobre o quanto os agentes reguladores deveriam ofertar em termos de recursos hídricos em cada nó de abastecimento, e conseqüentemente, para cada agente demandante distribuído no decorrer da rede.

Apesar de fornecerem resultados importantes para a gestão dos recursos hídricos, as técnicas de otimização da oferta hídrica efetuadas por meio dos modelos de nós e links de oferta recebem algumas críticas na literatura, ao passo que são aperfeiçoadas com o decorrer da dialética crítica. Yazdani, Otoo e Jeffrey (2011) destacaram que é preciso modelar com detalhes os padrões de conectividade das redes de abastecimento, uma vez que, os padrões de conectividade das redes geralmente podem afetar a confiabilidade, eficiência e robustez às falhas. Os referidos autores propuseram o uso de uma ampla gama de métricas e medições de teoria de rede avançadas para estudar os blocos de construção dos sistemas e quantificar propriedades como redundância e tolerância a falhas, a fim de estabelecer relacionamentos entre as características estruturais e o desempenho dos sistemas de distribuição de água. Segundo os autores, este procedimento permitiria uma maior confiabilidade na obtenção dos valores ótimos dos nós de abastecimento, permitindo a obtenção de valores mais confiáveis para a aplicação no planejamento hídrico.

A otimização também é frequentemente utilizada na literatura que trata dos recursos hídricos como uma maneira de mensurar a eficiência técnica dos agentes econômicos no que diz respeito ao uso da água nos processos de produção. Neste âmbito, destaca-se as ferramentas de programação linear determinística e estocástica. Ali e Klein (2014), por exemplo, utilizaram a Análise Envoltória de Dados (DEA) para mensurar a eficiência técnica dos irrigantes na província de Alberta, no Canadá.

Tecnicamente, o método consiste no uso de entradas (*inputs*) e saídas (*outputs*) para mensurar a eficiência relativa frente à produção por capacidade de uso dos insumos por meio de uma fronteira de possibilidades de produção para os produtores. Neste caso, a distância relativa de cada produtor para a fronteira de produção (obtida por meio da resolução de problemas de otimização com as técnicas de programação linear) determina o seu nível de eficiência em termos relativos aos demais produtores, de modo que, os agentes situados sobre a fronteira possuem eficiência relativa máxima, enquanto os agentes mais distantes da fronteira são menos eficientes em termos relativos. Usando a água como um insumo de produção, os referidos autores constataram que em média, os irrigantes estudados eram 84,3% tecnicamente eficientes, de modo que a água foi o fator de produção com a maior contribuição sobre a produtividade total dos fatores.

A abordagem DEA, entretanto, possui um conjunto de especificações e pode ser usada de diferentes maneiras a depender do problema de pesquisa. Um exemplo para estas possibilidades de uso é a abordagem com restrições probabilísticas. Neste caso, o objetivo é considerar a natureza estocástica das relações de produção por meio da quantificação da probabilidade de uso da quantia ótima de cada insumo de produção. Veetil, Speelman e Huylenbroeck (2013) utilizaram esta técnica para mensurar a eficiência do uso da água de irrigação no sistema de produção agrícola na bacia do rio Krishna, na Índia. Os referidos autores constataram que os produtores localizados sobre ou muito próximo da fronteira de possibilidade de produção têm uma maior demanda por água, enquanto os produtores menos eficientes usam menos água no processo de produção. Estes resultados poderiam fomentar políticas de incentivo aos ganhos de eficiência do uso da água para os pequenos irrigantes da região.

É válido destacar que as medidas de eficiência técnica obtidas por meio das técnicas de otimização também podem ser realizadas por processos estocásticos. Neste caso, o procedimento consiste basicamente em estimar uma Fronteira Estocástica de Produção (FEP) baseada nos usos de insumos e na produção bruta de cada produtor. Tendo obtida a FEP, então as distâncias relativas de cada produtor para a fronteira podem ser calculadas de uma maneira semelhante à análise DEA, possibilitando a obtenção de uma medida para a eficiência técnica de produção. Este mecanismo foi utilizado no âmbito dos recursos hídricos no trabalho desenvolvido por Lannier e Porcher (2014). Na oportunidade, os autores usaram a FEP para avaliar a eficiência técnica relativa de 177 unidades de tomada de decisão no setor de abastecimento de água da França em 2009. Os resultados permitiram concluir que neste caso em específico, a distribuição privada dos recursos hídricos era menos eficiente do que a distribuição pública. Estes resultados poderiam ser utilizados como parâmetros para a criação de medidas de gestão que buscassem os ganhos de eficiência dos agentes privados de abastecimento de água.

2.2.2 A modelagem de insumo-produto

Lenzen e Foran (2001) usaram as técnicas de insumo-produto com o intuito de fornecer informações para orientar as previsões e decisões políticas do ponto de vista da demanda na Austrália. Para tanto, os referidos autores utilizaram a análise insumo-produto com a finalidade de obter coeficientes multiplicadores de água para o consumo final a partir de dados sobre o uso industrial da água no país em questão. A partir destes procedimentos, os referidos autores conseguiram fornecer informações que poderiam ser utilizadas no planejamento de medidas de gestão dos recursos hídricos com foco na demanda. Além de fornecer uma conclusão geral acerca da necessidade de água na economia modelada pelos referidos autores, a análise insumo-produto utilizada no estudo permitiu a obtenção de coeficientes setoriais, o que poderia auxiliar na eficiência de possíveis medidas de gerenciamento dos recursos hídricos.

A análise de insumo-produto possui uma gama de ferramentas que podem trazer respostas para os diferentes problemas, principalmente aqueles relacionados à gestão de recursos hídricos. Como exemplo, o método de extração hipotética, proposto por Dietzenbacher, Linden e Steenge (1993), explora a possibilidade de identificar setores estratégicos pelos quais um choque exógeno aplicado no processo produtivo deste setor em específico poderia ocasionar em um efeito sobre a produção dos demais setores. Duarte, Sánchez-Chóliz e Bielsa (2002) utilizam este método com o objetivo de estudar o comportamento dos setores produtivos da economia espanhola como consumidores diretos e indiretos de água. Os resultados encontrados com o método em questão permitiu que os referidos autores verificassem que os setores relacionados à agricultura e alimentação possuem grandes participações no uso direto e indireto de água potável e água em geral. Além disso, os autores puderam identificar como um eventual choque na disponibilidade hídrica em um determinado setor viria a interferir na produção dos demais setores, possibilitando a obtenção de informações de extrema utilidade no planejamento e implantação de medidas de gestão dos recursos hídricos.

Uma outra abordagem utilizada na análise insumo-produto consiste na inter-regionalização dos modelos. Este mecanismo consiste em utilizar os dados contábeis de acordo com os fluxos de insumo-produto próprios de cada região específica, de tal modo que uma matriz inter-regional é considerada em vez de uma matriz de dados para toda a região de uma maneira geral. Este mecanismo permite tomar conclusões mais pontuais em uma comparação com os modelos convencionais de insumo-produto, possibilitando a obtenção das inter-relações entre as regiões e corrigindo eventuais subestimações dos efeitos econômicos. Velázquez (2006) utilizou este método com o objetivo de determinar quais as relações que se estabeleceram entre a estrutura produtiva e o consumo de recursos hídricos em uma região específica da Espanha. Os resultados encontrados pelo referido autor permitiram informar possíveis políticas

econômicas e ambientais orientadas para a poupança de água na região estudada. Além disso, o método permitiu verificar as consequências econômicas inter-regionais de possíveis mudanças no consumo de água causadas por determinadas medidas ambientais.

De certa forma, a teoria que trata da oferta e demanda de recursos hídricos possui conceitos que diferenciam este mercado dos demais mercados analisados na teoria econômica. Um exemplo é o conceito de água virtual, proposto inicialmente por AllanJ (1998). Este conceito esclarece que a demanda por água não consiste apenas no consumo direto e que a mensuração desta demanda também deve levar em consideração o comércio e consumo indireto da água embutida no processo de produção de diferentes produtos, especialmente das commodities. Neste sentido, Mubako, Lahiri e Lant (2013) utilizaram este conceito na análise de insumo-produto com a finalidade de avaliar o uso da água e quantificar as transferências de água virtual envolvendo os dois estados norte-americanos. Esta técnica permitiu que os autores concluíssem que as atividades agrícolas eram as maiores responsáveis pelo consumo direto da água e que o cultivo de produtos de baixo valor agregado era responsável por mais de 99% das exportações de água virtual dos estados analisados.

Dado que a análise insumo-produto permite avaliar os resultados intersetoriais de choques exógenos nas variáveis econômicas, então estas ferramentas também podem retornar os efeitos econômicos de uma realocação de recursos. No âmbito dos estudos que abordam a questão dos recursos hídricos, geralmente esta realocação pode ser modelada como um choque exógeno de disponibilidade hídrica em diferentes magnitudes para cada setor econômico representado na matriz insumo-produto. Como exemplo empírico, Llop (2013) utilizou a análise insumo produto para avaliar como a água é realocada na economia em resposta a mudanças na demanda final e mudanças nas necessidades técnicas de água das atividades e consumidores da Catalunha. As simulações feitas no referido estudo permitiram concluir que os choques exógenos de realocação hídrica beneficiaram a agricultura e prejudicaram o consumo humano em uma maior magnitude. O método também tornou possível concluir que os aumentos nas necessidades técnicas de água tiveram efeitos negativos na agricultura e efeitos positivos nas demais atividades produtivas e no consumo humano.

Hung (2002) estabeleceram um conceito importante que posteriormente viria a se tornar um objeto de estudo bastante difundido na literatura que trata dos recursos hídricos. Este conceito diz respeito à pegada hídrica, e está relacionado com o volume total de água utilizado durante a produção de bens e serviços, bem como o consumo direto de água pelos seres humanos. Posteriormente os estudos fundamentados na análise insumo-produto passou a abordar este conceito como uma maneira de identificar como as alterações setoriais na pegada hídrica interfere nas variáveis econômicas.

Wang et al. (2013), por exemplo, utilizaram a análise insumo-produto para quantificar a intensidade da pegada hídrica direta, indireta e total em Beijing, na China entre os anos de 2002 e 2007. A exploração do conceito de pegada hídrica associada às técnicas de insumo produto permitiram que os referidos autores tomassem conclusões a respeito dos efeitos da intensidade da pegada hídrica sobre variáveis como produção, comércio e poluição, fornecendo informações que poderiam auxiliar na tomada de decisão e na elaboração de ferramentas de gestão associadas ao uso dos recursos hídricos na área estudada.

Esta variedade de conceitos, técnicas e possibilidades permite que as mais extensas áreas e os mais variados problemas sejam explorados por meio da análise de insumo-produto de modo a sempre obter uma resposta robusta aos problemas analisados. Em outras palavras, as possibilidades de utilização da análise insumo-produto permitem que se obtenha uma resposta adequada para problemas específicos de pesquisa. Reforçando esta perspectiva, Zhang e Anadon (2014) elaboraram um modelo de insumo-produto multi-regional com a finalidade de quantificar a o comércio de água virtual e a pegada hídrica de um conjunto de províncias na China. A utilização deste método permitiu que os autores concluíssem que o comércio de água virtual incorporado ao comércio doméstico era cerca de duas vezes maior do que a água virtual incorporada às exportações internacionais da China no período de realização do referido estudo. Ainda foi possível demonstrar que a pegada hídrica nas províncias estudadas dependia fortemente do fluxo de água virtual de outras províncias. Assim, estas conclusões forneceram ricas informações que poderiam ser utilizadas me ações e políticas de gestão dos recursos hídricos na área de estudo.

Além das ferramentas estáticas regionais e multi-regionais, a análise de insumo-produto dispõe de mecanismos para fornecer respostas aos problemas econômicos de maneira dinâmica, isto é, de modo a considerar as respostas das variáveis aos choques exógenos no decorrer do tempo. Este processo pode ser visto de maneira mais detalhada em Aulin-Ahmavaara (1990), Raa (1986) e Heesterman (1990). Em relação à modelagem aplicada aos recursos hídricos, esta abordagem geralmente busca descrever como os choques exógenos de disponibilidade hídrica atuam sobre as variáveis econômicas ao longo do tempo. Este mecanismo foi utilizado, por exemplo, no estudo desenvolvido por Owen, Scott e Barrett (2018), onde os autores uniram a abordagem multi-regional com a abordagem dinâmica pra verificar os efeitos de choques exógenos nos suprimentos de energia, alimento e água sobre um conjunto de variáveis econômicas no Reino Unido entre 1997 e 2013. Este procedimento permitiu que os autores identificassem os setores mais sensíveis às mudanças exógenas no suprimento de água e energia, possibilitando a obtenção de informações que poderiam auxiliar na implementação de medidas de gestão aplicadas aos recursos hídricos e à oferta de energia ao longo do tempo na área de estudo.

É importante evidenciar que a análise insumo-produto voltada para a questão dos recursos hídricos pode ser utilizada em diferentes aspectos a depender do problema de pesquisa. Além do consumo direto de água e da pegada hídrica, outros temas associados à oferta e demanda de água são frequentemente explorados na literatura por meio das técnicas de insumo produto. Como exemplo, o uso indireto da água pode ser analisado como um instrumento de geração e oferta de energia, como visto em Liu et al. (2020). Outra possibilidade trata da utilização dos recursos hídricos como componente do abastecimento de água e tratamento de esgoto, como considerado por Zamanian, Hur e Shafieezadeh (2021). Em suma, a análise insumo-produto dispõe de ferramentas diversificadas e consolidadas na literatura, principalmente no que diz respeito aos estudos associados à questão dos recursos hídricos, tema que pode ser abordado sob diferentes óticas e em diferentes problemas de pesquisa.

2.2.3 Os modelos de equilíbrio geral computável

Seung et al. (2000) analisam a demanda por água em dois diferentes setores econômicos, a agricultura e a recreação. Neste contexto, o MEGC é usado em conjunto com modelos estatísticos que buscam quantificar alguns parâmetros relacionados com a demanda por água nas atividades voltadas para à recreação. Feito isto, o MEGC possibilitou que os referidos autores mensurassem os efeitos de eventuais choques de oferta no produto de ambos os setores estudados. Nesse sentido, os MEGC aparecem como uma ferramenta que possibilita uma análise prévia de possíveis efeitos de uma medida de gestão da oferta de água baseada na realocação intersetorial dos recursos hídricos, podendo auxiliar na implantação de políticas distributivas com maior grau de eficácia.

O estudo de Rose e Liao (2005) inclui a água como um fator de produção utilizado pelas empresas partindo do pressuposto de que a água é um insumo comum a todos os setores econômicos analisados. Os autores constroem alguns cenários econômicos para uma comparação frente aos indicadores econômicos do cenário base a partir de um choque de disponibilidade hídrica de recursos hídricos. Embora o referido trabalho esteja pautado em choques exógenos de oferta advindos de eventos aleatórios naturais em vez de uma intervenção de um agente gerenciador dos recursos hídricos, os autores do estudo destacam que os resultados obtidos com o MEGC podem fornecer evidências que auxiliem na gestão de recursos hídricos em períodos em que a oferta de água seja impactada por fenômenos naturais adversos.

Berrittella et al. (2007) utilizaram um MEGC para analisar os efeitos da escassez de recursos hídricos sobre o comércio internacional, de modo que os autores testam cenários em que a escassez é provinda de fenômenos naturais e cenários em que a restrição de disponibilidade hídrica decorre de um mecanismo de gestão da oferta de

recursos hídricos. No referido estudo, os autores modificam o MEGC conhecido como GTAP-W para englobar questões ambientais de interesse dos gestores de recursos hídricos tais como a produção de energia e a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, os autores utilizam uma versão do MEGC onde é possível modelar a distribuição regional dos agentes econômicos como um fator determinante do produto final. Os autores mostraram que a produtividade da água é muito mais sensível a uma mudança de precificação dos recursos hídricos no setor agrícola, de modo que, uma redução na disponibilidade hídrica geraria um maior ganho de produtividade no setor agrícola. Através da modelagem utilizada, os autores observaram também que uma restrição no uso dos recursos hídricos em um determinado setor de uma região típica, seja decorrente de um evento natural ou decorrente de um mecanismo de gestão da oferta de água, provoca efeitos indiretos multissetoriais e inter-regionais.

Calzadilla, Rehdanz e Tol (2010) utilizaram um MEGC para analisar os efeitos de um mecanismo de gestão dos recursos hídricos baseado na realocação do uso da água em um cenário de aplicação de políticas de uso sustentável dos recursos hídricos no setor agrícola. No modelo utilizado no referido trabalho, a água aparece como um fator de produção que compõe um conjunto de fatores que representam dotações de recursos naturais que são utilizados na produção de um fator composto (Valor adicionado). O MEGC utilizado no referido estudo também é pautado em uma metodologia de inter-regionalização, onde os fatores de produção de caráter não natural podem ser substituídos de acordo com a sua respectiva região geográfica. Com o uso do referido método, os autores constataram que em um cenário de crise hídrica, as variações no bem-estar social resultantes da aplicação de políticas de redistribuição de recursos hídricos não ocorrem apenas em decorrência das mudanças no consumo da água no setor agrícola. Além dessa constatação, o uso do MEGC permitiu que os referidos autores indicassem quais regiões teriam maiores e menores ganhos de bem-estar em uma situação de crise hídrica.

Calzadilla, Rehdanz e Tol (2011) consideraram que os problemas na má gestão dos recursos no setor agrícola, a crescente demanda global por alimentos e a grande demanda por água deste setor poderiam gerar uma necessidade de revisão dos níveis de consumo da água na agricultura. Para analisar a hipótese, os autores utilizam um MEGC onde os dados são imputados para os países do globo. No modelo, as empresas agrícolas substituem terra por água para formar uma dotação de recursos naturais que é considerada um insumo para a produção de um fator de produção composto. Os autores simulam os efeitos de uma potencial economia de água gerada pelas melhorias nas técnicas de irrigação. Por meio desse procedimento, os autores concluíram que um incentivo ao aprimoramento das técnicas de irrigação poderia acarretar alterações nas relações comerciais e nas vantagens comparativas dos países, de maneira que, os efeitos seriam tão mais positivos quanto maior fosse a escassez hídrica.

Qin et al. (2012) Também utilizaram os MEGC como uma ferramenta de auxílio à gestão para a aplicação de políticas voltadas para a alocação dos recursos hídricos. Nesse caso, os referidos autores utilizam as tarifas sobre o consumo da água como uma medida de controle setorial da demanda por recursos hídricos. No MEGC do referido estudo, a água é considerada um fator de produção, de modo que as empresas usam a água e um capital físico para produzir um fator composto de produção, o qual é utilizado na construção do bem final. Os autores consideram uma taxa exógena de precificação sobre o uso da água para elaborar possíveis cenários onde os gestores elaboram políticas de gestão e alocação intersetorial de água. Além de fornecer uma resposta sobre a taxa de variação do consumo de água em cada setor econômico, o método empregado pelos autores também possibilitou a visualização dos efeitos da cobrança pelo uso da água sobre o desempenho de cada um dos setores estudados.

Embora os efeitos econômicos de uma política de realocação dos recursos hídricos possa ser obtida com uma estimação econométrica convencional, os MEGC apresentam algumas vantagens quando comparado a esses procedimentos. Um dos principais fatores que conduzem ao uso dos MEGC nas questões relacionadas aos recursos hídricos é a possibilidade da obtenção não apenas do efeito direto, mas também, dos efeitos econômicos indiretos de determinada medida. Carrera et al. (2015), por exemplo, usaram um MEGC para obter os efeitos indiretos da inundação sobre a produção do setor de alimentos na china. Embora não esteja focado diretamente sobre a alocação e gestão dos recursos hídricos, o referido estudo ressalta a validade dos MEGC para a elaboração de políticas públicas e implantação de medidas de gerenciamento dos recursos públicos.

Liu, Hertel e Taheripour (2016) fazem uma rica revisão de literatura acerca do uso dos MEGC em problemas relacionados às demandas, disponibilidade, escassez e a alocação dos recursos hídricos. Dentre as principais vantagens citadas pelos referidos autores estão a possibilidade de quantificação da demanda por água intersetorial, a alocação intersetorial dos recursos hídricos, dentre outras. A revisão sistemática feita por Liu, Hertel e Taheripour (2016) ainda aponta que a regionalização e a desagregação espacial podem tornar os MEGC ainda mais vantajosos no que diz respeito aos problemas relacionados à alocação dos recursos hídricos, quando comparado com demais abordagens metodológicas.

Hertel e Liu (2019) apresentaram uma síntese da utilização dos MEGC para a resolução de problemas relacionados à distribuição dos recursos hídricos. Os referidos autores destacaram que esse tipo de método é amplamente utilizado na literatura pelo fato de que essas técnicas metodológicas possuem características que viabilizam a solução de problemas relacionados aos mecanismos de gerenciamento da alocação e distribuição da água, possibilitando uma previsão de ajuste da economia em vista da

ocorrência de possíveis medidas de gestão da oferta de água ou choques exógenos de oferta modelados em alguns cenários. O referido estudo ainda destaca que embora os MEGC possuam grande poder de resposta para os problemas de otimização relacionados aos instrumentos de gestão dos recursos hídricos, a pontualidade dos resultados dependerá da capacidade que o modelo possui de representar os cenários reais, evidenciando que, de uma maneira geral, modelos desagregados possuem respostas mais verídicas do que os modelos globais.

Roson (2019) utilizou um MEGC para fazer previsões para o ano 2050 a respeito do desenvolvimento econômico em diferentes cenários de uso da água. Os referidos autores usam um MEGC estático com inclusão de um componente espacial onde os agentes econômicos desempenham as suas atividades em regiões distintas que compõem o Oriente Médio e o Norte da África. Por meio de simulações numéricas, o referido estudo demonstrou a importância da implementação de instrumentos de gestão dos recursos hídricos que visem obter uma maior eficiência no uso econômico da água, mostrando também que pode haver um crescimento da produção de algumas empresas mesmo com a aplicação de um mecanismo de gestão dos recursos hídricos pautado na restrição do uso da água de setores menos eficientes.

Zhang et al. (2020) utiliza um MEGC para analisar o efeito *trade off* da realocação da água para uso econômico e ecológico. Os autores utilizam um MEGC estático onde a água é utilizada como fator de produção pelas empresas agrícolas. No referido modelo, enquanto as empresas não agrícolas usam apenas capital e trabalho como fatores de produção, as empresas não agrícolas usam água e terra para obter um fator de produção composto empregado na produção do bem final. No referido estudo, as simulações conduziram a um resultado que mostra que a implantação de um mecanismo de gestão que vise destinar uma grande parte da água disponível para a realização de atividades econômicas em detrimento de uma maior alocação para o uso da água em atividades básicas pode gerar conflitos em áreas com maior limitação de oferta hídrica.

3 Metodologia

Esta seção destina-se à apresentação dos materiais e métodos utilizados neste ensaio para que se possa fornecer respostas às questões levantadas na seção introdutória.

3.1 Área de estudo

O presente trabalho busca estudar os efeitos de choques de disponibilidade hídrica advindos de possíveis políticas de alocação e/ou distribuição dos recursos hídricos no Agreste/Leste pernambucano. Especificamente, o estudo está direcionado aos municípios que compõem as bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca e Una no Estado de Pernambuco, de maneira que, são considerados todos os municípios que possuem alguma fração do seu território situado sobre a área das referidas bacias hidrográficas. No total, são considerados 85 municípios, conforme demonstrado na Figura 1 e na Tabela 3.

A escolha desta área de estudo em específico decorre do fato de que a economia da região é composta em sua grande maioria por atividades bastante intensivas no que diz respeito ao uso da água. Além disso, um importante fator para a escolha da referida área de estudo é a disponibilidade de trabalhos direcionados para esta região¹, os quais possibilitam a obtenção dos valores de alguns parâmetros necessários para a elaboração do método aqui proposto.

¹ Como os estudos de SILVA (2017), SANTOS (2020) e Moraes et al. (2021).

Figura 1 – Delimitação da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2 Equilíbrio Geral Computável

Para fornecer uma resposta às questões citadas na seção introdutória, esta tese de doutorado faz uso de um MECG. Dixon e Jorgenson (2012) descrevem os MECG como sendo um sistema de equações e conceitos matemáticos que busca esclarecer questões políticas do mundo real por meio da aplicação da teoria econômica. A estrutura do MECG construído nesta tese é similar àquela considerada nos modelos básicos equilíbrio geral, onde a economia é composta por famílias, empresas, governo e o setor externo. A diferença fundamental entre o MECG aqui utilizado e o modelo padrão está no fato de que a economia é modelada para representar uma pequena economia estadual², a qual realiza transações com o resto do país e o resto do mundo.

Nesta tese de Doutorado, a principal questão a ser esclarecida é o real valor dos efeitos econômicos de um choque de disponibilidade hídrica nos recursos hídricos nos municípios do estado de Pernambuco beneficiados pelo Ramal do Agreste. Esse tipo de efeito poderia ser demonstrado de uma maneira simplificada por meio de uma relação linear estimada entre uma variável explicada e um vetor de valores que

² Cabe destacar que o termo “pequena economia estadual” aqui utilizado diz respeito a uma organização econômica que está contida em uma economia de maior representatividade. Em outras palavras, a “pequena economia estadual” representa um estado (Pernambuco) que pertence a uma economia de maior escopo (Brasil).

represente os real comportamento da disponibilidade hídrica. No entanto, esse tipo de técnica apenas permite a obtenção dos efeitos diretos dessa relação. A vantagem de usar os MEGC na presente análise, está no fato de que essa técnica permite a obtenção dos efeitos do evento estudado - disponibilidade hídrica - sobre a variável de interesse - produção setorial - em uma escala multissetorial.

A principal ideia no uso dos MEGC é representar um problema de otimização por meio de um sistema de equações factível onde sejam imputados valores que representam a realidade que compõe o problema analisado. A Figura 2 demonstra a representação de um MEGC básico. A economia é formada por n setores econômicos organizados de i a n com $n = 58$. As firmas de cada setor utilizam k fatores de produção para produzir um produto específico, sendo que cada empresa se especializará na produção de um único produto específico. O detalhamento do modelo é dado nos seguintes passos:

⇒ Na base da Figura 2 as firmas agregam os fatores $1, 2, \dots, k$ em um fator de produção compósito de acordo com uma tecnologia de produção do tipo *Cobb-Douglas*.

⇒ Após essa etapa, os fatores compósitos são combinados com os insumos disponíveis para a construção da produção interna bruta. Nesse caso, a água disponível para o uso econômico é tida como um insumo de produção e faz parte do processo de construção da produção interna bruta.

⇒ A produção interna bruta é transformada em exportações e bens domésticos de acordo com uma função de elasticidade de transformação constante.

⇒ Os bens domésticos são combinados com as importações para a construção de um bem compósito de acordo com uma função de produção de bens compósitos do tipo *Cobb-Douglas*.

⇒ O bem compósito, por sua vez, é distribuído entre o consumo das famílias, o consumo do governo, os investimentos e o uso intermediário para cada um dos setores considerados.

⇒ O modelo considera quatro tipos de famílias (pobres, não pobres, residentes no meio urbano e residentes no meio rural). São consideradas famílias pobres aquelas com renda familiar mensal *per capita* inferior à linha de pobreza disponibilizada pelo Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade (IETS, 2021).

⇒ A utilidade das famílias é gerada por meio do consumo dos produtos $1, \dots, 58$ de acordo com uma função de utilidade do tipo *Stone-Geary*.

3.2.1 Pressupostos

Para que o modelo atenda aos requerimentos matemáticos necessários à sua resolução é necessário assumir alguns pressupostos acerca da estrutura das funções e da economia que está sendo modelada.

⇒ A tecnologia possui retornos constantes de escala: Este pressuposto implica no fato de que se um determinado agente produz uma unidade do seu produto com a utilização de uma única unidade de cada insumo, então ele produzirá n unidades do seu produto caso utilize n unidades de cada insumo. Com isso, os agentes estariam dispostos a ofertar qualquer quantidade do seu produto caso o preço seja igual ao custo de utilização dos insumos e estariam dispostos a ofertar uma quantidade relativamente maior caso o preço do produto fosse superior ao custo de utilização dos insumos no processo de produção.

⇒ As empresas substituem trabalho qualificado por trabalho não qualificado para formar a mão de obra utilizada no processo de produção.

⇒ Existem quatro tipos de famílias, sendo classificadas de acordo com a sua situação censitária e condição de pobreza. Especificamente, considera-se as famílias pobres, com renda domiciliar *per capita* média inferior à linha de pobreza e as famílias não pobres, com renda domiciliar *per capita* média superior à linha de pobreza. Essas duas categorias de famílias são subdivididas de acordo com a situação censitária para englobar os pobres residentes nas áreas urbanas, os pobres residentes nas áreas rurais, os não pobres residentes nas áreas urbanas e os não pobres residentes nas áreas rurais.

⇒ As preferências dos consumidores são do tipo homotéticas: Este pressuposto determina que se existem duas cestas de consumo, A e B , se o consumidor prefere A em vez de B , então ele preferirá tA em vez de tB , para qualquer valor positivo de t . Em outras palavras, se as cestas de consumo mudam em proporções iguais, então o consumidor sempre irá preferir a mesma cesta por mais que os valores das cestas de consumo se alterem.

⇒ A estrutura de mercado da economia é compatível com a concorrência perfeita: Existe um grande número de produtores dentro e fora do mercado; Os produtores e os consumidores têm ampla informação sobre o mercado; Não existem barreiras à entrada ou saída dos produtores no mercado; Os produtos produzidos são homogêneos.

⇒ A hipótese de Armington: Assume-se que os produtos produzidos domesticamente e os produtos produzidos fora da área de estudo são substitutos imperfeitos.

⇒ Os agentes econômicos da área de estudo realizam transações de compra e venda de produtos e fatores com os agentes do resto do estado de Pernambuco, do resto do Brasil e do resto do mundo.

⇒ O valor da remuneração do trabalho está negativamente relacionado com a taxa de desemprego.

3.2.2 Estrutura do modelo

O modelo utilizado nesta tese de Doutorado é uma adaptação do modelo padrão apresentado por Robinson et al. (1999) e Lofgren, Harris e Robinson (2002) para uma pequena economia local incluindo-se as restrições de uso da água no processo de produção. O MEGC é formado por sete blocos de equações, onde cada bloco busca modelar matematicamente as propriedades de uma determinada parte da economia em questão.

3.2.2.1 Tecnologia de produção e demanda por fatores

Para modelar a tecnologia de produção, considera-se que as empresas utilizam capital e trabalho para produzir um produto especificamente. Contudo, considera-se que o capital pode ser decomposto em capital físico e capital natural, de modo que o capital natural é modelado de diferentes maneiras a depender do segmento de atuação do setor. Mais precisamente, o capital das empresas agrícolas é obtido por meio da substituição entre capital físico e um fator compósito que envolve terra e água, enquanto o capital das empresas não agrícolas é advindo da substituição entre capital físico e água. Este processo de substituição ocorre por meio de funções de elasticidade de substituição constante, através das quais é possível obter as equações de demanda por terra, água e capital físico.

Tendo obtido o capital por meio dos processos de substituição de fatores mencionados, considera-se que o valor adicionado para cada setor (VA_i) pode ser modelado de acordo com uma função de produção do tipo Cobb-Douglas, de tal modo que:

$$VA_i = a_i \left[LD_i^{\alpha_i} K_i^{1-\alpha_i} \right] \quad (3.1)$$

Com $i = 1, 2, \dots, 58$, em que a_i é o parâmetro de escala da função de produção associado ao i -ésimo setor, LD_i é a demanda por trabalho do i -ésimo setor, K_i é a demanda por capital do i -ésimo setor e α_i é o parâmetro de compartilhamento do trabalho para o i -ésimo setor. Esta especificação é bastante comum no âmbito da construção de modelos de equilíbrio geral uma vez que possui um conjunto de propriedades que facilitam a modelagem da economia. Em modelos de equilíbrio voltados para a alocação de recursos hídricos, esta especificação para o valor adicionado foi utilizada, por exemplo, nos estudos desenvolvidos por (BERCK; ROBINSON; GOLDMAN, 1991), (SEUNG et al., 2000), (BERRITTELLA et al., 2008) e (HEERDEN

et al., 2019). A Figura 19 e a Figura 20 demonstram o processo de obtenção do valor adicionado de maneira simplificada.

Para modelar o uso da mão de obra considera-se a agregação de trabalho utilizado por Manacorda, Sánchez-Páramo e Schady (2010) e Fernández e Messina (2018), os quais consideram que a oferta de trabalho pode ser escrita como uma agregação referente à qualificação dos trabalhadores. Assim, considera-se que a oferta de trabalho é uma agregação do trabalho qualificado (LSK) - referente aos indivíduos com escolaridade maior do que o nível fundamental - e o trabalho não qualificado ($LLSK$) que engloba as pessoas com escolaridade inferior ou igual ao nível fundamental. Esta agregação ocorre por meio de uma função com elasticidade de substituição constante, de tal modo que:

$$LD_i = b_i \left[\delta_i LSK_i^{-\rho L_i} + (1 - \delta_i) LLSK_i^{-\rho L_i} \right]^{-\frac{1}{\rho L_i}} \quad (3.2)$$

Em que δ_i é a participação do trabalho qualificado no uso total do trabalho no i -ésimo setor, ρL_i é a elasticidade de substituição entre o trabalho qualificado e não qualificado e b_i é o fator de produtividade do trabalho no i -ésimo setor.

Dado que as empresas utilizam dois tipos de trabalho, então elas podem substituir os trabalhadores qualificados por trabalhadores não qualificados e vice-versa. Assume-se que esta substituição ocorre de acordo com a seguinte regra:

$$\frac{LSK_i}{LLSK_i} = \left[\frac{\delta_i}{1 - \delta_i} \frac{\omega_s}{\omega_{LS}} \right]^{\sigma_L} \quad (3.3)$$

Em que ω_s é a remuneração do trabalhador qualificado, ω_{LS} é a remuneração do trabalhador não qualificado e σ_L é a elasticidade de substituição das remunerações dos trabalhadores qualificados e não qualificados. A remuneração, por sua vez, pode ser escrito como uma agregação das remunerações recebidos pelos dois tipos de trabalhadores. Neste caso, assume-se que esta agregação pode ser feita com a utilização de uma função CES, de tal modo que:

$$\omega_i = \frac{1}{b_i} \left[\omega_s^{(1-\sigma_L)} \delta_i^{\sigma_L} + \omega_{LS}^{(1-\sigma_L)} (1 - \delta_i)^{\sigma_L} \right]^{\frac{1}{1-\sigma_L}} \quad (3.4)$$

A demanda pelo i -ésimo bem (X_i) pode ser definida como a soma do consumo intermediário (CI_i) e do valor agregado setorial, ou seja:

$$X_i = CI_i + VA_i \quad (3.5)$$

O consumo intermediário intersetorial CII_{ij} com $j = 1, 2, \dots, 58$ é dado por:

$$CII_{ij} = a_{ij} * X_i \quad (3.6)$$

Em que a_{ij} é o coeficiente técnico da matriz insumo-produto. Por consequência, o consumo intermediário de cada setor deve ser igual ao consumo intermediário intersetorial total, ou seja:

$$CII_i = \sum_j CII_{ij} \quad (3.7)$$

3.2.2.2 Renda

As equações deste bloco buscam modelar o rendimento das famílias, das empresas e do governo. Os procedimentos matemáticos considerados neste bloco consistem em uma adaptação para uma economia estadual aberta do MEGC padrão proposto por Lofgren, Harris e Robinson (2002). Em suma, as equações que representam a renda da economia advêm do MEGC padrão e são constantemente utilizadas na literatura³, de modo que, neste trabalho algumas adaptações são realizadas para representar fielmente a economia modelada. Para as empresas, supõe-se que estes agentes recebem todo o rendimento do capital, o que implica em uma renda (YF) dada por:

$$YF = \sum_i R_i K_i \quad (3.8)$$

Em que R_i é a remuneração do capital do i -ésimo setor. Em relação às famílias, estas serão subdivididas em quatro grupos (pobres e não pobres, urbanas e rurais). Utilizando os conceitos propostos por Sefton e Weale (2006), a renda de cada tipo de família (Y_H) será composta pela soma dos dividendos, remuneração dos fatores de produção e transferências governamentais, ou seja:

$$Y_H = SLI_H \cdot \omega_s \sum_i LSK_i + LSLI_H \cdot \omega_{LS} \sum_i LLSK_i + SHK_H \cdot YF + TRF_H \quad (3.9)$$

Em que H é a indexação do tipo de família, SLI_H é a Proporção do trabalho qualificado na h -ésima família, $LSLI_H$ é a proporção do trabalho não qualificado na h -ésima família, TRF_H são as transferências governamentais para as famílias e SHK_H é a proporção do capital das firmas pago às famílias.

³ Por exemplo, em Hosoe, Gasawa e Hashimoto (2010) e Hong et al. (2014).

O rendimento do governo (Y_G), por sua vez, é advindo da tributação direta sobre o rendimento das famílias e o rendimento das firmas e da tributação indireta sobre o consumo de produtos importados ou produzidos internamente, de modo que:

$$Y_G = \sum_i TXS_i + \sum_i TXM_i + tk \cdot YF + \sum_H ty_H \cdot Y_H \quad (3.10)$$

Em que TXS_i são os tributos sobre o consumo de produtos nacionais, tk é a taxa de tributação sobre o capital, TXM_i são os tributos sobre o consumo de produto importados e ty_H é a taxa de tributação da renda das famílias.

Como uma maneira ter incentivar o consumo de produtos locais, o governo tributa as importações, de modo que o valor arrecadado com este tipo de imposto pode ser escrito como:

$$TXM_i = txm_i \cdot PXM_i \cdot M_i \quad (3.11)$$

Em que PXM_i é o preço médio das importações do i -ésimo setor, txm_i é a taxa de tributação sobre importações do i -ésimo setor e XM_i é o valor das importações do i -ésimo setor.

O governo ainda aplica uma taxa tx_i sobre a produção de cada setor (X_i), de modo que o total arrecadado com esse tipo de tributo em cada setor (TXS_i) é dada por:

$$TXS_i = tx_i \cdot P_i \cdot X_i \quad (3.12)$$

Em que P_i é o preço do produto produzido pelo i -ésimo setor.

3.2.2.3 Demanda e poupança

A modelagem das equações de demanda e poupança também advêm do MEGC padrão e baseiam-se na estrutura proposta por Lofgren, Harris e Robinson (2002). O consumo das famílias ($C_{H,i}$) para o i -ésimo bem pode ser encontrado por meio da resolução do problema de maximização da utilidade através de uma função de utilidade do tipo *Cobb-Douglas*, obtendo-se:

$$C_{Hi} = \frac{\beta_i^H (Y_H - S_H - ty_H \cdot Y_H)}{P_i} \quad (3.13)$$

Em que ty_H é a taxa de tributação sobre a renda das famílias, S_H é a poupança da h -ésima família, β_{iH} é a proporção da renda das famílias destinada ao consumo do

bem produzido pelo i -ésimo setor e C_{Hi} é a demanda da h -ésima família pelo produto do i -ésimo setor

A demanda do governo (GF_i), por sua vez, é calculada com base em proporções fixas dos gastos governamentais com bens e serviços, de modo que:

$$GF_i = \beta_i^{GF} \frac{GFT}{P_i} \quad (3.14)$$

Em que β_i^{GF} é a proporção dos gastos do governo realizados na compra do bem produzido pelo i -ésimo setor e GFT são os gastos totais do governo.

O investimento em bens de capital (INV_i) é definido como a parcela do investimento total destinado à aquisição de bens de capital, de maneira que:

$$INV_i = \beta_i^I \frac{IT}{PK} \quad (3.15)$$

Em que β_i^I é a proporção do investimento total referente a demanda por investimento do i -ésimo setor. A poupança das famílias (S_H) é definida como a diferença entre a renda, o consumo e a tributação aplicada à H -ésima família, ou seja:

$$S_H = Y_H - \sum_H ty_H \cdot Y_H - \sum_i C_{Hi} \quad (3.16)$$

A poupança das firmas (SF) possui uma definição semelhante à poupança das famílias, sendo a diferença entre a renda das firmas, a parcela da renda das firmas paga às famílias e a parcela da renda das firmas destinada a pagar a tributação pelo governo.

$$SF = YF - \sum_H SHK_H \cdot YF - tk \cdot YF \quad (3.17)$$

Já a poupança do governo é a diferença entre a renda do governo (YGF), as compras do governo (GF_i), as transferências do governo para as famílias e as transferências do governo para as firmas (TGE), ou seja:

$$SG = YGF - \sum_i GF_i - \sum_H TRF_H - TGE \quad (3.18)$$

3.2.2.4 Comércio

Para modelar as relações comerciais e as tarifas impostas sobre o comércio local, nacional e internacional são utilizados alguns pressupostos indicados por Jones (1969) adaptados para uma pequena economia estadual. Assume-se que a demanda

pelo bem compósito pode ser modelada em uma função de agregação de dois níveis, de modo que, no primeiro nível a agregação entre os bens produzidos internamente (MD_i) e os bens importados do resto do país (XDD_i) resulta na demanda total pelo bem compósito nacional (QD_i), de maneira que esta agregação pode ser feita por meio de uma função CES, de maneira que:

$$QD_i = A_i^D \left[\delta_i^D MD_i^{1-\sigma_i^D} + (1 - \delta_i^D) XDD_i^{1-\sigma_i^D} \right]^{\frac{-1}{\rho_i^D}} \quad (3.19)$$

De modo que $\sigma_i^D = \frac{1}{1+\rho_i^D}$, A_i^D é o fator de produtividade do bem compósito nacional do i-ésimo setor, σ_i^D é a elasticidade de substituição dos bens importados do resto do país pelos bens produzidos internamente e δ_i^D é a proporção dos bens importados do resto do país pelo i-ésimo setor. Para tornar viável esta agregação, supõe-se que os bens produzidos internamente e os bens importados são substitutos perfeitos. No segundo passo, este bem compósito é combinado com os produtos importados do resto do mundo (XM_i) para obter a demanda total pelo bem compósito, sendo:

$$QM_i = A_i^M \left[\delta_i^M QD_i^{1-\sigma_i^M} + (1 - \delta_i^M) XM_i^{1-\sigma_i^M} \right]^{\frac{-1}{\rho_i^M}} \quad (3.20)$$

Em que $\sigma_i^M = \frac{1}{1+\rho_i^M}$, A_i^M é o fator de produtividade do bem compósito do i-ésimo setor, δ_i^M é a proporção dos bens importados do resto do mundo pelo i-ésimo setor e σ_i^M é a elasticidade de substituição entre bens importados do resto do mundo e aqueles produzidos domesticamente.

A demanda por bens importados pode ser encontrada por meio da resolução de um problema de minimização de custos restrito à Equação 3.20, de modo a obter:

$$\frac{MD_i}{XDD_i} = \left(\frac{\delta_i^D}{1 - \delta_i^D} \right) \left(\frac{PMD_i}{PXD_i} \right) \quad (3.21)$$

Em que PMD_i é o preço dos bens importados do resto do país pelo i-ésimo setor PXD_i = Preço do bem compósito do i-ésimo setor. A demanda por bens produzidos internamente também pode ser obtida com o mesmo processo de minimização de custos, alterando-se apenas a restrição para a Equação 3.19, de modo a obter:

$$\frac{QD_i}{XM_i} = \left[\frac{\delta_i^M}{(1 - \delta_i^M)} \frac{PQD_i}{PXM_i} \right]^{\sigma_i^M} \quad (3.22)$$

No modelo aqui apresentado, supõe-se que os produtores têm o controle sobre o destino das vendas da sua produção, de maneira que estes agentes podem definir

se a produção será destinada às vendas no mercado interno ou se a produção será dedicada as exportações. Em termos formais, os produtores escolhem o volume da produção (X_i) que será destinada ao mercado interno (D) e a parcela da produção que será exportada (EX). Para formalizar matematicamente este mecanismo, supõe-se que a produção pode ser modelada de acordo com a agregação do produto comercializado domesticamente e da produção exportada, de modo que esta agregação segue as propriedades de uma função com Elasticidade de Transformação Constante (CET), ou seja:

$$X_i = A_i^T \left[\delta_i^T EX_i^{1-\sigma_i^T} + (1 - \delta_i^T) D_i^{1-\sigma_i^T} \right]^{\frac{-1}{\sigma_i^T}} \quad (3.23)$$

Em que A_i^T é o fator de substituição das duas possibilidades de vendas apresentadas, δ_i^T é a proporção da produção exportada do i -ésimo setor e $\sigma_i^T = \frac{1}{1+\rho_i^T}$ é a elasticidade de substituição entre as exportações e as vendas feitas internamente. Dado que os produtores podem escolher o destino da sua produção, então eles possuem um fator de substituição entre as vendas internas e as exportações. A partir da resolução de um problema de maximização da produção sujeito às restrições de custos de comercialização, obtém-se o grau de substituição dos produtores entre as vendas domésticas e exportações, que pode ser escrito como:

$$\frac{EX_i}{XDD_i} = \left[\frac{\delta_i^T}{(1 - \delta_i^T)} \frac{PE_i}{PXD_i} \right]^{\sigma_i^T} \quad (3.24)$$

Em que PE_i é o preço médio sectorial da produção comercializada internamente e PXD_i é o preço médio setorial da produção exportada. Dado que o produtor escolheu a parcela da produção que será destinada às exportações, então supõe-se que ele pode definir a quantidade do produto exportada para o resto do país (ED_i) e a quantidade exportada para o resto do mundo (EI_i). Considera-se, portanto, que o total da produção exportada pode ser modelada de acordo com uma função CET que pode ser apresentada como:

$$EX_i = A_i^E \left[\delta_i^E ED_i^{1-\sigma_i^E} + (1 - \delta_i^E) EI_i^{1-\sigma_i^E} \right]^{\frac{-1}{\rho_i^E}} \quad (3.25)$$

Em que δ_i^E representa a proporção da produção destinada ao resto do país e $\sigma_i^E = \frac{1}{1+\rho_i^E}$ mostra a elasticidade de substituição entre a produção destinada ao resto do país e a produção destinada ao resto do mundo. Em consequência, a substituição entre as exportações para o resto do país e para o resto do mundo pode ser modelada

como:

$$\frac{ED_i}{E_i} = \left[\frac{\delta_i^E}{(1 - \delta_i^E)} \frac{PED_i}{PE_i} \right]^{\sigma_i^E} \quad (3.26)$$

Em que PED_i é o preço médio sectorial da produção destinada ao resto do país. Dadas as possibilidades de comércio interno e externo, a balança comercial da economia pode ser subdividida em duas, sendo a balança comercial relacionada ao resto do país ($SRBR$) e a balança comercial em relação ao resto do mundo ($SEXT$), as quais podem ser escritas como:

$$\begin{aligned} SRBR &= \sum_i PMRB_i MD_I - \sum_i PERB_i DE_I \\ SEXT &= \sum_i PWM_i M_i - \sum_i PWE_i E_i \end{aligned} \quad (3.27)$$

Em que PWM_i é o preço setorial do produto exportado para o resto do mundo e PWE_i é o preço médio setorial da produção exportada para o resto do mundo.

3.2.2.5 Preços

As equações de preços seguem o padrão comum dos MEGC que tratam de uma economia aberta, como em Bergman (1982) e Bergman (2005), por exemplo. Ressalta-se, contudo, que conforme os demais blocos do modelo, são necessárias algumas adaptações para adequar o MEGC padrão para o caso de uma economia estadual aberta. Como as funções de produção utilizadas no modelo são homogêneas de grau zero, então é possível recorrer ao teorema de Euler para modelar as equações dos preços. Portanto, o preço médio setorial da produção interna (P_i), o preço aplicado ao consumidor (PC_i), o preço das exportações para o resto do país (PE_i), o preço do bem compósito formado pela produção nacional e estrangeira (PQD_i), o preço do valor

adicionado (PVA_i) e a remuneração do capital (R_i) são escritos como:

$$\begin{aligned}
 P_i &= \frac{PE_i E_i + PD_i D_i}{X_i} \\
 PC_i &= \frac{PM_i M_i + PQD_i QD_i}{QM_i} \\
 PE_i &= \frac{PEI_i EI_i + PED_i ED_i}{E_i} \\
 PQD_i &= \frac{PMD_i MD_i + PD_i D_i}{QD_i} \\
 PVA_i &= \frac{PX_i X_i - PC_i CI_i}{VA_i} \\
 R_i &= \frac{PVA_i VA_i - \omega \cdot LD_i}{VA_i}
 \end{aligned} \tag{3.28}$$

Para modelar os preços relacionados ao comércio internacional, supõe-se que a economia considerada neste trabalho é uma economia pequena que não consegue interferir no preço dos produtos importados e exportados. Em consequência, o preços dos produtos importados do resto do mundo (PM_i), o preço dos bens importados do resto do país (PMD_i), o preço médio setorial dos produtos exportados (PE_i), o preço da produção exportada destinada ao resto do país (PED_i), e o índice de preços para bens de consumo podem ser definidos como:

$$\begin{aligned}
 PM_i &= (1 + tm_i) ER \cdot PWM_i \\
 PMD_i &= PRB_i \\
 PE_i &= ER \cdot PWE_i \\
 PED_i &= PRB_i \\
 PK &= \sum_i \beta_i^l \cdot PC_i
 \end{aligned} \tag{3.29}$$

Sendo ER é a taxa de câmbio, PWM_i e PWE_i os preços internacionais dos produtos importados e exportados, respectivamente, tm_i as taxas de tributação das importações e PRB_i o preço dos bens no resto do país.

3.2.2.6 Fechamento do modelo

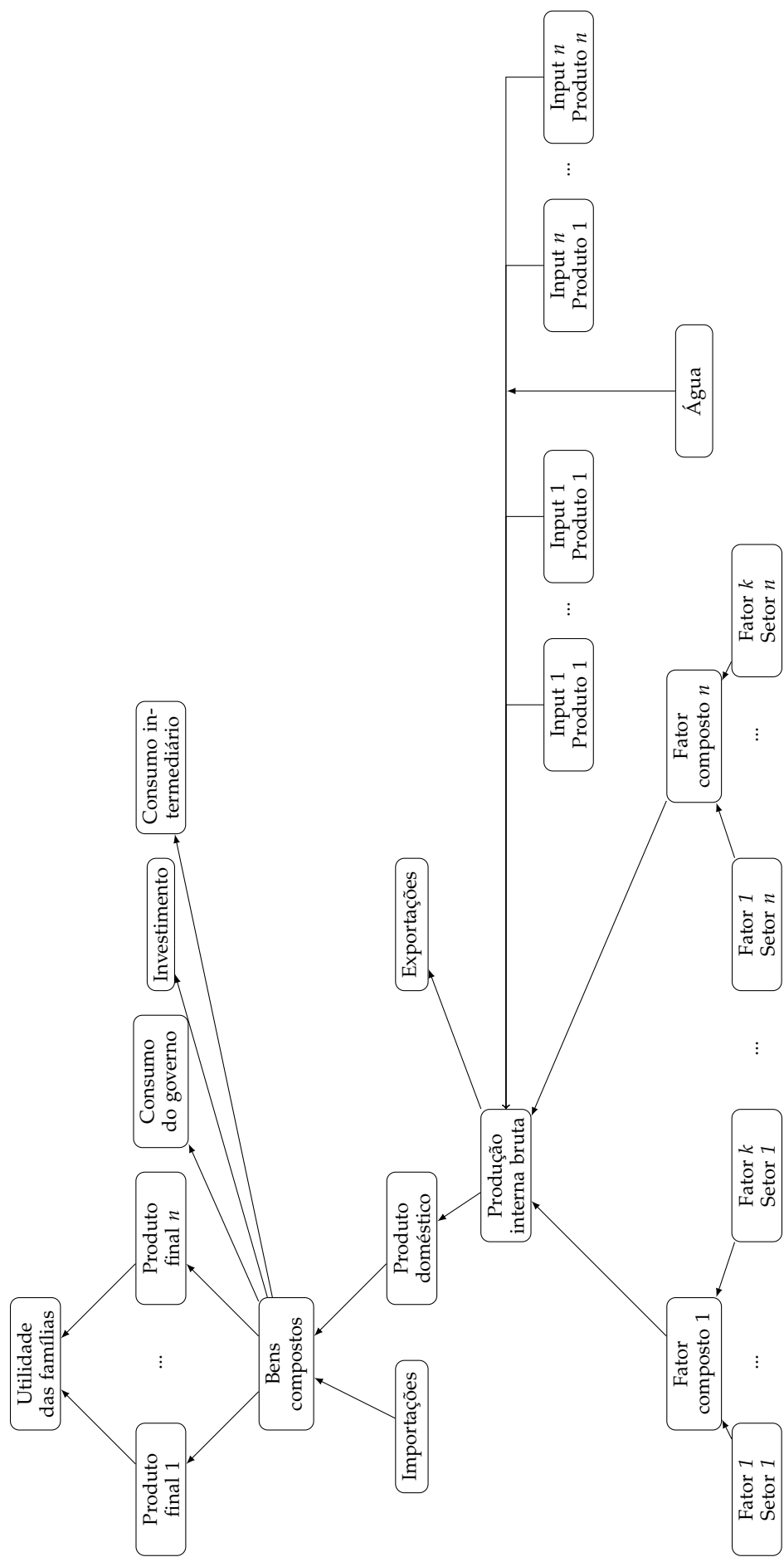
Para garantir que os resultados ocorram em um cenário onde a oferta seja equivalente à demanda em todos os 58 setores considerados, é adicionado ao modelo um conjunto de quatro equações que garantem que a economia modelada está em pleno equilíbrio. Estas condições estão apresentas na Equação subsequente. A primeira condição estabelece que a oferta de trabalho não qualificado é igual à demanda por trabalho não qualificado; a segunda condição indica que a oferta de trabalho qualificado é igual à demanda por trabalho qualificado; a terceira condição mostra que

a oferta agregada de bens é igual a demanda agregada por bens em cada setor; e, por fim, a quarta condição delimita que a oferta setorial de investimentos é equivalente à demanda setorial por investimentos.

$$\begin{aligned}
 LUSK &= \sum_i LLSK_i \\
 LSK &= \sum_i LSK_i \\
 QD_i &= \sum_j a_{ij}X_j + \sum_H C_{iH} + INV_i + GF_i \\
 \sum_H S_H + SF + SG + SEXT + SRBR &= IT
 \end{aligned} \tag{3.30}$$

O modelo completo (incluindo todos os blocos que representam a economia de maneira teórica mais as condições de fechamento do modelo) possui um total de 5.630 equações e 5.630 variáveis, além de conter um total de 5.067 parâmetros.

Figura 2 – Representação simplificada de um modelo básico de Equilíbrio Geral Computável.



Fonte: Elaboração própria.

3.3 Matriz de contabilidade social (MCS)

As equações que compõem o cenário base dos MEGC são constituídas de parâmetros e variáveis que devem representar fielmente a economia representada no modelo. Uma maneira comumente utilizada na literatura para calibrar o valor destes parâmetros e obter os valores iniciais de referência das variáveis do MEGC é a utilização dos valores dispostos em uma MCS voltada para a economia em questão. A vantagem de usar tal mecanismo está no fato de que a MCS permite extrair valores de referência para as principais variáveis econômicas em um cenário de equilíbrio entre a oferta total e a demanda total de bens e serviços da economia, garantindo a consistência do equilíbrio econômico no MEGC.

Para efetuar a calibração dos parâmetros necessários para a solução do MEGC deste ensaio, este trabalho usa uma MCS referente aos 71 municípios considerados no estudo. Para a construção da MCS a ser utilizada neste ensaio, serão considerados 58 setores, os quais terão valores atribuídos por meio de uma Matriz Insumo-Produto (MIP) utilizada no estudo de Moraes et al. (2021).

As informações disponibilizadas na MIP correspondem ao ano de 2011 e mostram os fluxos contábeis dos setores estudados nos municípios que compõem a região do projeto. Estes valores são utilizados para representar as transações intersetoriais na MCS e servem como base para estimativas de alguns parâmetros que compõem a MEGC. Além das transações intersetoriais representadas pelos coeficientes técnicos da MIP, a MCS possui mais quinze linhas(colunas) com informações sobre o estoque de capital, trabalho (qualificado e não qualificado), fluxos contábeis das empresas, famílias (pobres e não pobres, residentes em áreas urbanas e rurais), governo, tributos (estaduais e federais), comércio externo (com o resto do país e o resto do mundo), investimentos e variação nos estoques.

Algumas informações utilizadas na MCS não estão previamente disponíveis e precisaram ser estimadas de acordo com os dados existentes. A saber, as células que indicam os valores das transferências governamentais às famílias, as transferências das empresas para as famílias, o salário setorial dos trabalhadores qualificados e não qualificados, os tributos pagos pelas famílias e o estoque de capital das empresas. Para tanto, foram utilizadas informações provenientes da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD)⁴ referente ao ano de 2011, do censo demográfico de 2010⁵, da Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF)⁶ referente ao ano de 2008 e das Contas

⁴ Microdados disponíveis em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=microdados>>

⁵ Microdados disponíveis em <https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2010/Resultados_Gerais_da_Amostra/Microdados/>

⁶ Microdados disponíveis em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/rendimento-despesa-e-consumo/9050-pesquisa-de-orcamentos-familiares.html?=&t=microdados>>

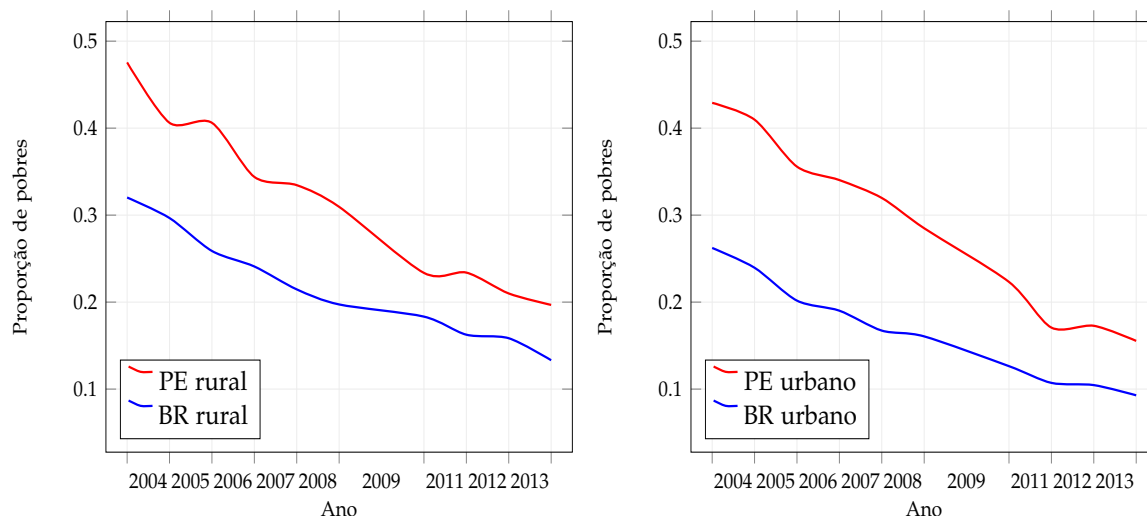
Econômicas Integradas do ano de 2011.

Para representar as famílias da área de estudo a MCS é composta por quatro grupos de famílias que buscam representar os fluxos contábeis destes agentes segundo a sua condição de pobreza e situação censitária. A justificativa para a desagregação das famílias de acordo com estes critérios está nos elevados níveis de pobreza rural no estado de Pernambuco e, conseqüentemente, na área de estudo. A título de esclarecimento, a literatura dispõe de um vasto debate sobre os níveis de pobreza rural na região Nordeste do Brasil. Mais precisamente em relação ao estado de Pernambuco, este debate pode ser visto em Caetano et al. (2016) e Pinheiro e Irmão (2004).

Para reforçar a justificativa da desagregação das famílias segundo a condição de pobreza e situação censitária, a Figura 3 mostra a dispersão temporal da pobreza nos meios urbano e rural do estado de Pernambuco entre 2004 e 2014 a partir dos dados da PNAD. É possível notar que o estado de Pernambuco apresenta uma proporção de pobres superior àquela observada para o Brasil como um todo, tanto nas áreas urbanas quanto nas áreas rurais para todos os anos disponibilizados na figura. Embora a proporção de pobres tenha caído significativamente até o ano base utilizado neste estudo, esta proporção ainda é relativamente alta no ano de 2011, principalmente nas áreas rurais do estado. Neste sentido, a desagregação das famílias por condição de pobreza e situação censitária possibilita a representação dos agentes que compõem as famílias da área de estudo de uma maneira mais fidedigna na construção do MEGC, podendo melhorar a representatividade do modelo, implicando em resultados mais condizentes com a realidade para com as famílias.

Em vista destes conceitos, as famílias foram subdivididas em pobres residentes no meio rural, pobres residentes em áreas urbanas, não pobres residentes no meio rural e não pobres residentes nas áreas urbanas. Para tanto, foram considerados pobres aquelas famílias com renda domiciliar *per capita* média mensal inferior à linha de pobreza. É importante destacar que a linha de pobreza utilizada para distinguir os pobres dos não pobres foi extraída do Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade (IETS), a qual é baseada no estudo de Rocha e Soares (2015) e utiliza os dados anuais da PNAD para o seu cálculo. A utilização desta linha de pobreza é justificada pelo fato de que esta consiste em um valor financeiro anual para as áreas urbanas e rurais dos estados e regiões brasileiras, possibilitando uma diferenciação entre os pobres do meio urbano e rural.

Figura 3 – Proporção de pobres em Pernambuco e no Brasil.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados do IBGE (2021b).

3.4 Consumo setorial da água

O consumo setorial de água utilizado para a construção do MEGC é baseado na estimativa proposta por Moraes et al. (2021). Os valores consistem na soma da água bruta e da água tratada utilizada pelos produtores do Agreste/Leste pernambucano que compõem cada um dos 58 setores considerados no MEGC. Em relação à água bruta, os valores considerados correspondem às estimativas de uso da água provenientes de modelos de otimização baseados nas requisições de água provenientes das outorgas junto à Agência Nacional de Águas (ANA) para o ano de 2011, de modo que, para cada setor específico, a água bruta total corresponde ao somatório do volume de água bruta ótimo para com os produtores da região que desempenham atividades econômicas condizentes com o escopo produtivo de cada setor. A água tratada, por sua vez, foi obtida pelos referidos autores por meio de identidades contábeis junto à matriz de insumo-produto da área de estudo e técnicas de valoração da água, o que possibilita a obtenção de uma medida de uso setorial para com a água tratada⁷. É importante esclarecer que o volume total do requerimento de água para cada setor é medido em milhões de metros cúbicos.

3.5 Simulações

Tendo montado do cenário base para a economia aqui estudada por meio do MEGC apresentado nas subseções anteriores, o próximo passo é verificar como um

⁷ Para maiores esclarecimentos ler Moraes et al. (2021).

choque de disponibilidade hídrica de recursos hídricos afeta os indicadores econômicos da região.

• **Cenário 1:** No primeiro cenário, busca-se introduzir um choque de disponibilidade hídrica global de água que represente um mecanismo de gestão de recursos hídricos que vise minimizar o consumo total da água disponível. Para tanto, considera-se os conceitos utilizados por Moraes et al. (2021), onde os autores investigam o quanto a oferta de água deveria ser restrita no Agreste/Leste pernambucano caso os tomadores de decisão optassem por priorizar a água dos reservatórios da região com o intuito de garantir a oferta hídrica futura em um eventual cenário de estiagem. Por meio de uma modelagem de insumo-produto, os autores do referido estudo constataam que a restrição ótima de oferta de água seria de 14,3%. Assim, o primeiro cenário construído no presente estudo visa simular a aplicação de uma medida restritiva da oferta global de água na área de estudo em uma proporção equivalente à restrição ótima indicada por Moraes et al. (2021). Com isso, um choque exógeno de disponibilidade hídrica será aplicado no MEGC, o qual pode ser descrito como se segue:

$$Agua_{sc}^s = 0,857 * Agua_{2011}^s \quad (3.31)$$

Em que $Agua_{sc}^s$ é a oferta de água na simulação e $Agua_{2011}^s$ é a oferta de água no cenário base. A partir deste mecanismo é possível simular os efeitos de uma intervenção estratégica baseado na restrição de disponibilidade hídrica sobre os indicadores econômicos extraídos do MEGC, possibilitando a obtenção de informações que auxiliem na elaboração precisa de instrumentos de gestão dos recursos hídricos em períodos de escassez hídrica na área de estudo. A vantagem de utilizar um MEGC para tal propósito é que a partir da estruturação do modelo é possível associar os efeitos encontrados diretamente ao choque exógeno. No caso desta tese de doutorado, o uso do MEGC possibilita encontrar as variações nos indicadores econômicos que estão relacionados unicamente com o choque exógeno da disponibilidade hídrica.

A simulação de uma restrição de disponibilidade hídrica de 14,3% é baseada em dois objetivos principais. Primeiro, utilizar a restrição ótima obtida por Moraes et al. (2021) é uma maneira de integrar a teoria econômica existente no MEGC com demais abordagens utilizadas na literatura sobre gestão de recursos hídricos que utilizam critérios menos associados à esta teoria⁸. Assim, esta seria uma maneira de unir os critérios puramente matemáticos da otimização que geralmente compõem os modelos de alocação de água com os critérios socioeconômicos com os quais os

⁸ É importante destacar que a restrição de 14,3% proposta por Moraes et al. (2021) foi obtida por meio de técnicas de otimização e insumo-produto com a finalidade de responder qual seria a restrição ótima do abastecimento hídrico que deveria ser implementada no Agreste/Leste pernambucano em 2011 para garantir o suprimento máximo possível do requerimento de água para o uso econômico na região estudada nos anos posteriores ao ano de referência.

tomadores de decisão se deparam no ato do planejamento e execução de medidas de gerenciamento dos recursos hídricos. Segundo, esta restrição possibilita simular os resultados da aplicação da sugestão de restrição ótima feita por Moraes et al. (2021) para a área de estudo em termos socioeconômicos. Em outras palavras, utilizar o referido choque de disponibilidade hídrica permite simular o que ocorreria caso os agentes planejadores buscassem medidas de garantir o abastecimento futuro da água por meio da implementação dos resultados e conclusões obtidos no referido estudo.

• **Cenário 2:** A fim de obter maiores evidências sobre os efeitos do mecanismo de gestão de recursos hídricos explorado no cenário 1, considera-se o caso em que diante da restrição de disponibilidade hídrica imposta, os tomadores de decisão optem por manter constante a oferta de água do setor industrial. Neste caso, os demais setores estariam expostos ao choque de disponibilidade hídrica representado na Equação (3.31), aderido de uma penalização sobre a oferta de água referente ao montante necessário para manter constante a oferta da indústria. Enquanto isso, a oferta total de água para a indústria permanece inalterada em relação ao cenário base. Seja i a indexação dos setores econômicos, seja $Agua2011_i^s$ a oferta de água destinada ao i -ésimo setor no cenário base, seja ζ a taxa de realocação da água da agricultura e do setor de serviços para a indústria, a oferta total de água com a inclusão do choque exógeno pode ser escrita formalmente como:

$$Agua_{sc}^s = \begin{cases} (0,857 - \zeta) * \sum_i Agua2011_i^s & \text{Para a agricultura e o setor de serviços} \\ \sum_i Agua2011_i^s & \text{Para a indústria} \end{cases} \quad (3.32)$$

• **Cenário 3:** Para simular os efeitos de uma medida de gestão da oferta de recursos hídricos baseada na realocação da oferta de água, foi elaborada uma simulação onde os agentes reguladores repõem a oferta de água das empresas do setor agrícola mediante ao choque de disponibilidade hídrica apresentada no cenário 1, em detrimento da oferta de água das demais empresas. O propósito desta simulação é demonstrar o comportamento das principais variáveis socioeconômicas que compõem o modelo frente à uma realocação de água da indústria e do setor de serviços para manter a oferta de água da agricultura em um montante similar àquele observado no cenário base. Assim, seja ζ a taxa de realocação da água, o choque de disponibilidade hídrica mencionado consiste em modelar a oferta total de água como:

$$Agua_{sc}^s = \begin{cases} (0,857 - \zeta) * \sum_i Agua2011_i^s & \text{Para a indústria e o setor de serviços} \\ \sum_i Agua2011_i^s & \text{Para a agricultura} \end{cases} \quad (3.33)$$

• **Cenário 4:** Tendo verificado os efeitos de uma restrição da oferta de recursos hídricos sobre as variáveis socioeconômicas que compõem o MEGC, é possível verificar o quanto a produtividade das firmas deveria ser alterada para que os efeitos da implantação desta medida sobre as variáveis analisadas fossem reduzidos a zero. Para este propósito, seja A_i o parâmetro de produtividade total dos fatores da função de produção da i -ésima firma representativa e seja ζ uma taxa exógena, então um choque positivo de produtividade pode ser obtido fazendo $A_i^{sc} = (1 + \zeta)A_i$, em que A_i^{sc} é o parâmetro de produtividade obtido com a aplicação do choque exógeno. Neste caso, é possível obter uma medida para a alteração na produtividade total dos fatores de produção necessária para tornar nulos os efeitos dos choques na disponibilidade hídrica efetuados no cenário 1.

É importante destacar que as funções de produção utilizadas neste trabalho consideram apenas capital e trabalho como fatores de produção. Porém, esses fatores são resultados de um conjunto de agregações de demais fatores, como pode ser visualizado de maneira geral na Figura 19 e na Figura 20. Assim, uma alteração na produtividade total dos fatores diz respeito a uma mudança na produtividade dos fatores compósitos de capital e trabalho. Portanto, desde que um ganho de produtividade de um dos fatores de produção que compõem os fatores compósitos supere a perda de produtividade de outro insumo utilizado nas agregações dos fatores, então um ganho de produtividade pode ocorrer mesmo que haja perda de produtividade para com um dos fatores de produção. Em outras palavras, pode haver um avanço na produtividade total dos fatores mesmo que haja perdas de produtividade da água, desde que os ganhos de produtividade dos demais fatores de produção superem a queda na produtividade dos recursos hídricos.

4 Resultados e discussão

Esta seção destina-se à apresentação dos resultados obtidos com os métodos utilizados e à discussão destes resultados frente à literatura econômica acerca do problema de pesquisa abordado nesta tese.

4.1 Análise dos dados no cenário base

Esta subseção destina-se à apresentação de um resumo estatísticos das principais informações utilizadas na construção do MEGC, tendo o objetivo de possibilitar ao leitor deste documento uma compreensão detalhada dos principais indicadores que compõem o modelo.

A Figura 4 apresenta o consumo setorial extraído da MCS para cada tipo de família considerada na elaboração do MEGC. Como esperado, é possível notar que os menores valores absolutos do consumo setorial estão relacionados às famílias pobres do meio rural, uma vez que estas famílias dispõem de um menor rendimento em relação às demais categorias consideradas. A título de esclarecimento, os maiores valores obtidos para o consumo das famílias pobres do meio rural estão relacionados à aquisição de produtos e serviços dos setores de transporte (setor 46, o qual engloba os gastos com transporte terrestre, transporte dutoviário de carga, transporte aquaviário e transporte aéreo), fabricação e refino de açúcar (setor 12) e outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares (setor 53). Em contrapartida, o valor total do consumo das famílias pobres do meio rural tende a zero para os produtos advindos de setores como extração de minerais e extração de petróleo e gás natural (setor 8); fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos mecânicos (setor 36); armazenamento e atividades auxiliares dos transportes e correios (setor 47); e atividades de vigilância, segurança, investigação e segurança pública, defesa e outros da administração pública e seguridade social (setor 54).

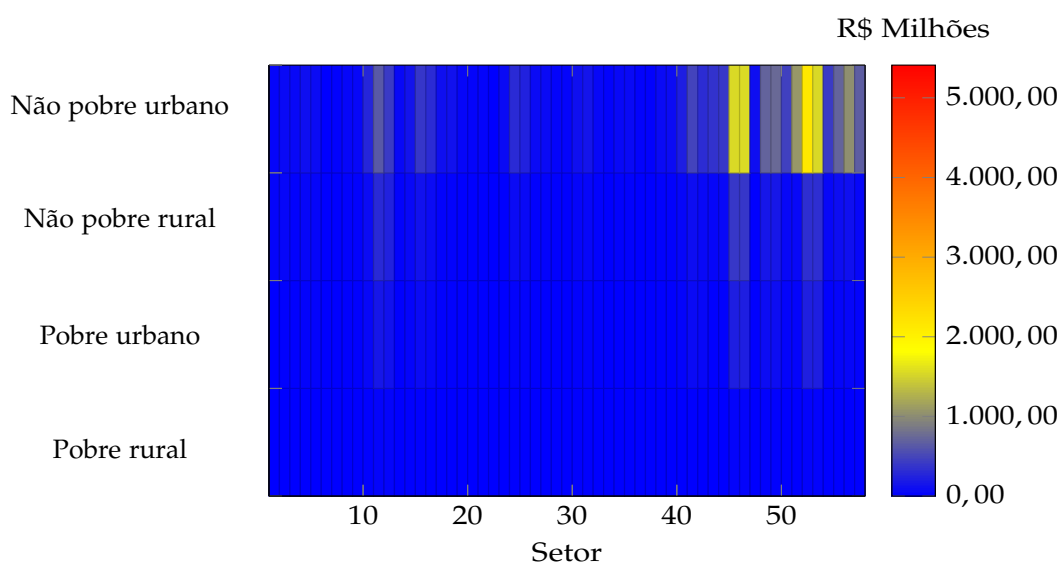
O valor total dos gastos com consumo das famílias pobres do meio urbano é majoritariamente superior dentre os setores analisados quando comparados com os gastos com consumo das famílias pobres do meio rural. Este resultado pode ser explicado pelo fato de que a produção decorrente das atividades de subsistência complementa o consumo de uma considerável proporção das famílias residentes no meio rural da área de estudo, de modo que, esta produção não ocorre na mesma proporção nas áreas urbanas. Além disso, a considerável diferença entre os gastos absolutos com consumo das famílias residentes em áreas urbanas e rurais pode ser

atribuído às características demográficas da região de estudo, uma vez que os dados do censo demográfico do ano de 2010 mostram que apenas 19,8% da população do estado de Pernambuco residia em áreas rurais¹.

Para as famílias pobres do meio urbano, os maiores gastos com consumo são advindos da aquisição de produtos dos setores de outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares (setor 53), transporte (setor 46) e alimentação (setor 49). Os menores gastos com consumo das famílias pobres do meio urbano, por sua vez, estão relacionados aos produtos oriundos do setor de cultivo de cana-de-açúcar (setor 2), refino de petróleo e coquerias (setor 23) e outros produtos e atividades (setor 58).

As famílias não pobres representam são responsáveis pelos maiores níveis de consumo, de modo que, os não pobres residentes em áreas urbanas consomem um montante majoritariamente superior para os 58 setores considerados. Os setores com maior consumo decorrente das famílias não pobres do meio rural são os setores de fabricação de produtos químicos, produtos petroquímicos básicos, resinas e elastômeros (setor 25); Transporte (setor 46); e outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares (setor 53). Em contrapartida, os maiores montantes associados ao consumo das famílias não pobres do meio urbano ocorrem nos setores de transporte (setor 46); intermediação financeira, seguros e previdência complementar (setor 52); e outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares (setor 53).

Figura 4 – Consumo setorial das famílias.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da pesquisa.

¹ Para mais detalhes sobre o perfil demográfico do estado de Pernambuco ver <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>>.

A Tabela 1 traz maiores detalhes sobre os principais dados das famílias consideradas na MCS. Como esperado, os maiores valores absolutos ocorrem para os não pobres residentes no meio urbano (HH4), os quais representam aproximadamente 80% do consumo e 54% da poupança, ao passo que recebem 82% das transferências das empresas para as famílias, 52% das transferências do governo para as famílias, 89% da remuneração do trabalho qualificado e 83% da remuneração do trabalho qualificado, além de representarem a maior participação nas transferências das famílias para o governo (aproximadamente 97%).

As menores participações nos valores absolutos dos dados demonstrados na Tabela 1 ocorrem para os pobres residentes nas áreas rurais, os quais detêm 1,3% do valor consumido e 2,84% da poupança da área de estudo no ano de referência, recebem cerca de 1,74% das transferências das empresas para as famílias, 0,03% das transferências do governo para as famílias, 0,5% da remuneração do trabalho qualificado, 0,83% da remuneração do trabalho não qualificado e representam 0,01% das transferências das famílias para o governo.

Tabela 1 – Dados das famílias consideradas na MCS.

	HH1	HH2	HH3	HH4
Consumo	539,70	3670,13	4095,91	33246,53
Poupança	739,07	1849,59	9386,34	14091,28
Transferências das empresas	78,71	534,80	178,74	3728,70
Transferências do governo	4,80	2497,37	4698,24	7799,59
Remuneração do trabalho qualificado	79,13	568,70	1042,31	14125,92
Remuneração do trabalho não qualificado	197,52	1415,43	2462,45	19828,55
Transferências para o governo	0,10	17,21	23,16	1568,76

Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da pesquisa.

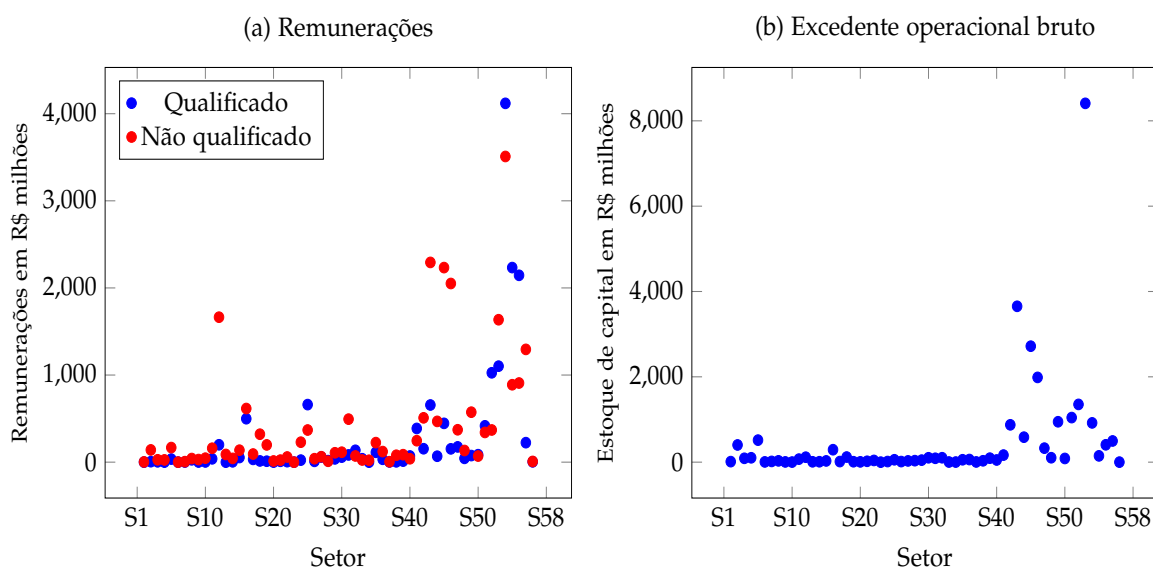
Nota: Valores em R\$ milhões.

A Figura 5 mostra os valores da remuneração total e do excedente operacional bruto setorial obtidos na MCS. Os resultados apresentados no painel (a) mostram que na maioria dos setores estudados a remuneração total do trabalho não qualificado supera o montante da remuneração do trabalho não qualificado. As exceções ocorrem nos casos em que o perfil mediano dos trabalhadores exige um maior nível de qualificação como os setores de refino de petróleo e coquerias (setor 23), fabricação de produtos químicos, produtos petroquímicos básicos, resinas e elastômeros (setor 25), educação (setor 55) e saúde (setor 56). A maior remuneração ocorre no setor que engloba as atividades de vigilância, segurança, investigação e segurança pública, defesa e outros da administração pública e seguridade social (setor 54), tanto para o trabalho qualificado quanto para o trabalho não qualificado. As menores remunerações para o trabalho qualificado ocorrem nos setores de cultivo de milho (setor 1), fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais (setor 13) e fabricação de eletrodomésticos (setor 34), onde

o total de trabalhadores qualificados representa uma quantidade praticamente nula. Para o trabalho não qualificado, as menores remunerações ocorrem nos setores de cultivo de milho (setor 1), produção florestal (setor 6) e refino de petróleo e coquerias (setor 23).

O painel (b) da Figura 5 mostra os valores do excedente operacional bruto para a área de estudo. Os resultados mostram que a maioria dos setores apresenta um excedente operacional bruto menor do que R\$ 1 bilhão. A exceção ocorre para os setores de construção (setor 43), comércio atacadista e varejista e outras atividades de comércio (setor 45), transporte (setor 46), atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem, telecomunicações e desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação (setor 51), intermediação financeira, seguros e previdência complementar (setor 52) e outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares (setor 53), sendo este último o setor com maior excedente operacional bruto.

Figura 5 – Valor da remuneração e do excedente operacional bruto por setor.

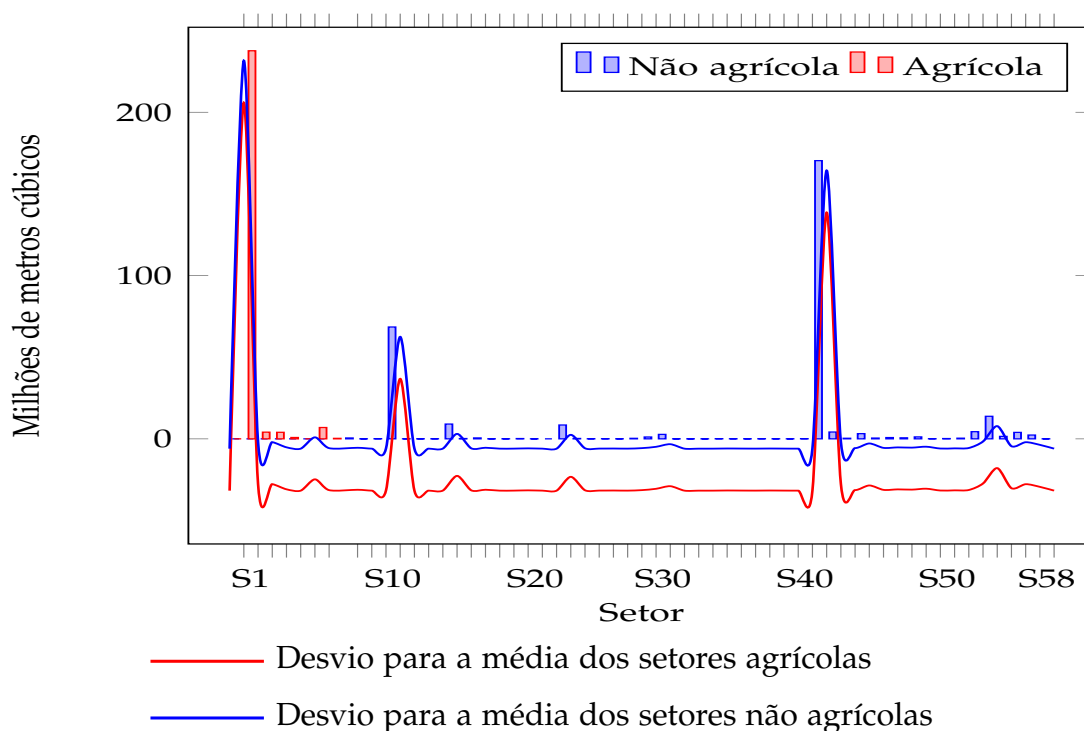


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da pesquisa.

A Figura 6 mostra a demanda setorial por água medida pela soma da demanda por água bruta e água tratada de cada setor para o cenário base de acordo com as informações utilizadas por Moraes et al. (2021). Os resultados demonstrados na figura mostram que o setor S2 (cultivo de cana-de-açúcar) e o setor S42 (água, esgoto e resíduos) possuem as maiores demandas por água dentre todos os 58 setores considerados, necessitando de aproximadamente 238 milhões e 170 milhões de metros cúbicos de água, respectivamente. O setor de produção e refino de açúcar (S12) aparece em terceiro lugar na ordem decrescente de demanda por água no cenário base, utilizando cerca de 69 milhões de metros cúbicos de água. Em contrapartida, o

setor S23 (refino de petróleo e coquerias) possui a menor demanda por água dentre todos os setores considerados, o que representa um uso de água praticamente nulo ($0,5 m^3$). Dentre os setores que desenvolvem atividades agrícolas, a menor demanda por água ocorre no setor S1 (cultivo de milho), onde a quantidade demandada ocorre próximo da nulidade, fato que pode ser explicado pela predominância da agricultura de sequeiro no cultivo de milho da área de estudo.

Figura 6 – Demanda por água no cenário base.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados da pesquisa.

4.2 Resultados das simulações

Esta subseção destina-se à apresentação dos resultados obtidos com os choques de disponibilidade hídrica aplicados no MEGC. Os resultados são apresentados de acordo com uma comparação percentual do cenário base com os valores obtidos a partir das simulações de possíveis medidas de restrição e realocação dos recursos hídricos. São apresentados os resultados e as discussões frente a literatura a respeito das simulações da ocorrência de uma medida de restrição da disponibilidade global de água, conforme demonstrado na Equação 3.31; de uma medida de gestão da disponibilidade de recursos hídricos baseada na manutenção da oferta de água da indústria em detrimento do uso da água na agricultura e no setor de serviços, conforme demonstrado na Equação 3.32; de uma política de realocação da oferta de água entre a indústria, o setor de serviços e a agricultura, conforme demonstrado na Equação 3.33; e de um choque na produtividade total dos fatores das firmas representativas. Os

resultados do primeiro cenário são comparados com o cenário base ao passo que os resultados das demais simulações são comparados com o cenário base e com o cenário 1 a fim de fornecer indicativos que auxiliem nas políticas de gestão dos recursos hídricos na área de estudo. A comparação com os resultados do cenário 1 tem o objetivo de demonstrar como as medidas de gestão dos recursos hídricos exploradas nos demais cenários afetam os indicadores socioeconômicos em uma comparação com o caso em que seja aplicada apenas uma medida restritiva do uso econômico da água.

4.2.1 Efeitos de uma restrição global da disponibilidade hídrica (Cenário 1)

Nesta subseção estão apresentados os resultados de um choque exógeno que busca simular a implantação de um mecanismo de gestão dos recursos hídricos fundamentado na restrição global do uso da água. Este cenário busca simular os cenários apontados por Moraes et al. (2021), onde pressupõe-se que os tomadores de decisão restringem a oferta de água visando a garantia do abastecimento futuro em um possível cenário de escassez hídrica. São apresentados os resultados das simulações sobre o produto interno bruto, a produção setorial, a renda das famílias e o bem estar das famílias que compõem o estudo.

A Figura 7 mostra os resultados da variação na produção setorial decorrente da aplicação de um choque negativo de disponibilidade hídrica semelhante à taxa ótima de restrição indicada por Moraes et al. (2021). A partir dos resultados obtidos é possível notar que as firmas representativas que compõem o macrossetor agrícola são as mais prejudicadas com a implantação da restrição na disponibilidade hídrica, tendo o seu produto reduzido em aproximadamente 3,22% quando comparado com o cenário base. A indústria surge como o segundo setor mais afetado pela referida restrição, passando por uma redução de aproximadamente 0,48% no produto. Em contrapartida, o setor de serviços aparece como sendo o menos afetado pelo choque de disponibilidade hídrica, tendo a sua produção reduzida em aproximadamente 0,22%.

Uma maior desagregação dos efeitos do choque de disponibilidade hídrica aqui abordado mostra que a variação na produção setorial é majoritariamente negativa dentre os setores considerados, como esperado. Em comparação com o cenário base, a variação total da produção setorial é de aproximadamente -0,4%, indicando que, caso os tomadores de decisão optem por minimizar as perdas de água dos reservatórios da área de estudo por meio de uma restrição na disponibilidade hídrica, então a redução da disponibilidade de água para o uso econômico decorrente deste mecanismo é potencialmente responsável por reduzir diretamente a produção setorial da área de estudo em cerca de 0,4%. É importante destacar que dentre os 58 setores considerados, a produção de cana-de-açúcar é o setor mais sensível às restrições de disponibilidade

hídrica, tendo o seu produto reduzido aproximadamente 8,6% com a aplicação do choque exógeno de que trata este cenário.

Em termos de Produto Interno Bruto (PIB), a aplicação do choque exógeno da disponibilidade hídrica simulado no cenário 1 implica em uma redução de aproximadamente 0,46% no PIB do Agreste/Leste pernambucano. Em outras palavras, uma restrição da disponibilidade de água na área de estudo, quando implementada sem uma medida auxiliar de gestão dos recursos hídricos, leva a uma redução do PIB da região em 0,46%. Este resultado fornece indicativos de que a minimização das perdas de volume dos reservatórios do Agreste/Leste pernambucano, por meio de um choque negativo de disponibilidade hídrica está sujeita a uma queda no produto da área de estudo. Cabe destacar que a resposta negativa do PIB para com a restrição de recursos hídricos está em linha com os resultados disponíveis na literatura como aqueles apresentados em Dixon, Rimmer e Wittwer (2012) e Wittwer e Griffith (2012).

Entre os setores que compõem a agricultura, o cultivo de cana-de-açúcar é o mais sensível às restrições de disponibilidade hídrica decorrentes da aplicação do choque exógeno em questão, tendo a sua produção reduzida em aproximadamente 8,6% em comparação com o cenário base. A produção florestal, por sua vez, é o setor menos sensível às restrições na disponibilidade de água dentre os setores agrícolas, tendo apresentado uma variação negativa de aproximadamente 0,66% na produção setorial em uma comparação com o cenário base. No que diz respeito aos setores não agrícolas, a variação total da produção setorial foi de -0,3%, indicando que uma restrição global da disponibilidade hídrica decorrente de um mecanismo de gestão de recursos hídricos que vise minimizar as perdas de volume dos reservatórios da área de estudo reduz a produção total dos setores não agrícolas do Agreste/Leste pernambucano em aproximadamente 0,3%. Dentre os 49 setores que compõem esta categoria, apenas dois deles apresentaram ganhos de produção diante da restrição da disponibilidade de recursos hídricos (Laticínios e outros produtos alimentares (S11); e Fabricação de alimentos para animais (S14)). A maior variação positiva na produção ocorre para o setor S11, o qual passa por um aumento de cerca de 0,06% no valor da produção quando a disponibilidade hídrica é restringida em decorrência do choque exógeno do cenário 1.

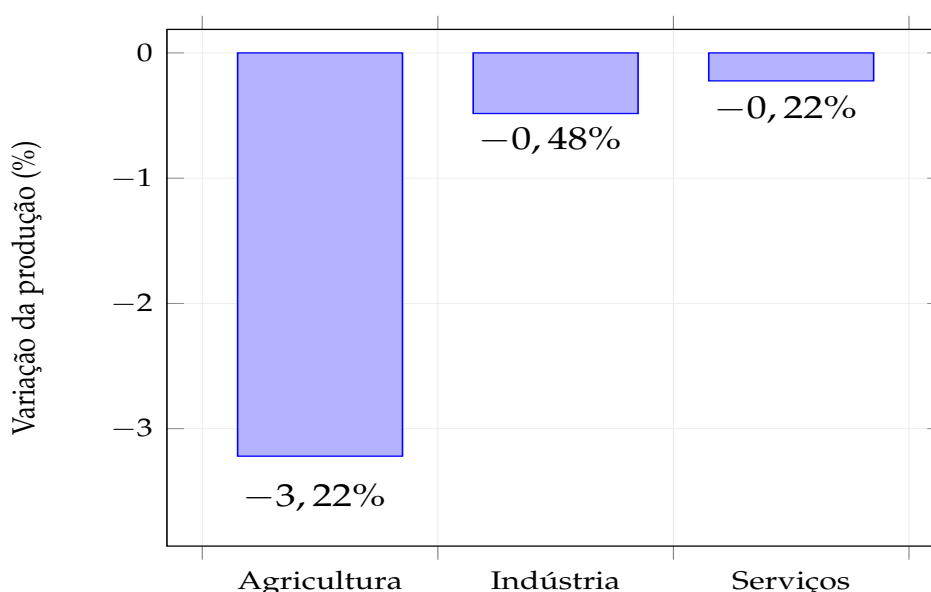
É importante destacar que os resultados apresentados na Figura 7 estão em linha com o esperado, uma vez que corroboram os resultados disponíveis na literatura econômica. Em primeiro lugar, a resposta negativa da agricultura ao choque negativo de disponibilidade de água é superior à resposta dos demais setores, como pode ser observado também no estudo de Wittwer e Griffith (2012), onde os autores encontraram uma variação negativa de mais de 50% na produção de alguns setores agrícolas em um choque negativo de disponibilidade hídrica pelo qual os autores buscaram simular

a ocorrência de uma seca prolongada na Austrália. García-León, Standardi e Staccione (2021) encontraram uma redução de 3,74% na produção agrícola após a aplicação de um choque exógeno em um MEGC onde os autores buscavam simular uma queda de 10% na disponibilidade de água na Itália, o que representa uma variação condizente com os resultados do cenário 1 do presente trabalho.

Em segundo lugar, a resposta da produção setorial das firmas que compõem o setor de serviços foi relativamente pequena, representando a menor variação dentre os três macrossetores considerados. Este resultado também aparece em linha com o esperado, uma vez que o setor de serviços apresenta um menor grau de dependência do uso econômico da água para o desenvolvimento dos processos de produção quando comparado à agricultura e à indústria.

Tendo calculado as variações da produção setorial decorrentes do choque negativo de oferta, é possível mensurar o custo de uma intervenção que vise minimizar as perdas de água dos reservatórios da área de estudo em termos do valor da produção. Em comparação com o cenário base, a produção setorial total da área de estudo caiu aproximadamente 0,34%, o que representa uma perda de aproximadamente R\$ 304,3 milhões em valor do produto. Desse total, R\$ 58,89 milhões correspondem ao custo da referida intervenção para as empresas que compõem o setor agrícola, R\$ 111,81 milhões correspondem ao custo da intervenção para a indústria, enquanto o custo da intervenção para o setor de serviços é de aproximadamente R\$ 133,59 milhões em termos de valor da produção setorial.

Figura 7 – Efeitos de uma restrição global da oferta de água sobre a produção setorial.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

Em termos de gestão dos recursos hídricos e as suas consequências econômicas,

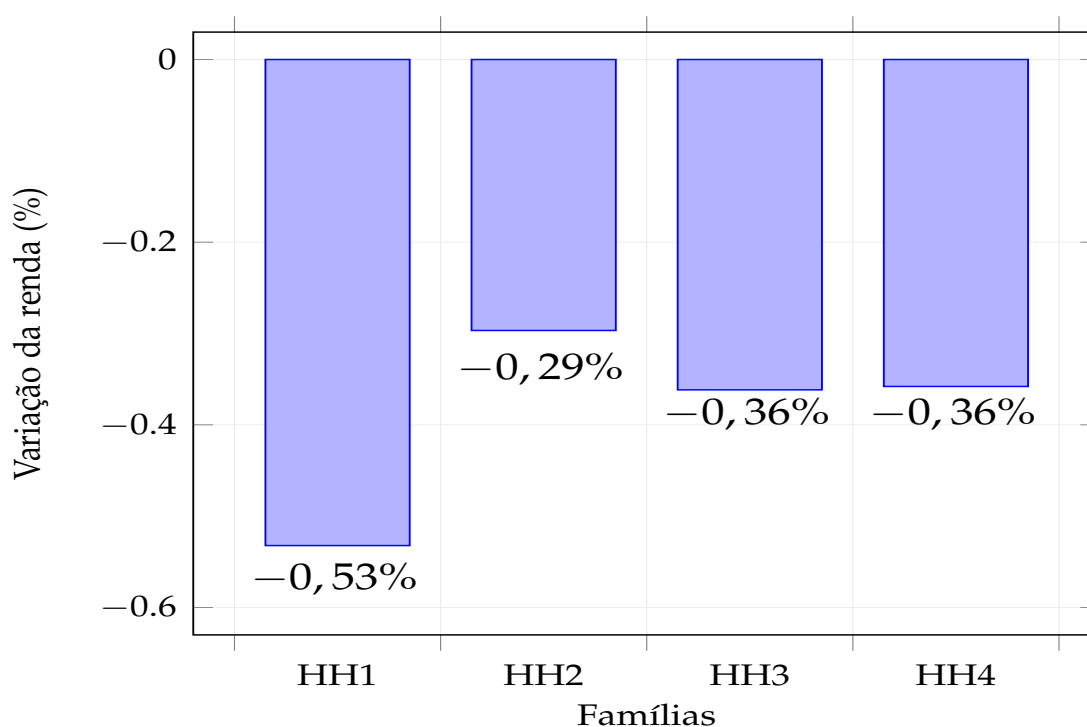
a redução do produto da área de estudo associada à uma medida de gestão de recursos hídricos com foco na minimização das perdas de água dos reservatórios do Agreste/Leste pernambucano fornece indícios de que caso os agentes reguladores tenham o objetivo de reduzir as perdas de produto frente a uma a necessidade de manutenção das reservas superficiais de água, é necessário que sejam criados mecanismos que contornem os efeitos da perda de disponibilidade hídrica para o uso econômico, principalmente no que diz respeito aos setores mais afetados. Um dos mecanismos de intervenção mais discutidos na literatura em relação à redução dos efeitos da escassez hídrica para com a produção é a redistribuição ou realocação intersetorial da água, tema que é abordado nos trabalhos de Green e Hamilton (2000), Kelman e Kelman (2002), Kucukmehmetoglu e Guldmann (2004), Birol, Koundouri e Kountouris (2008), Karimi e Ardakanian (2010), Hu et al. (2016) e Zhang et al. (2020), sendo explorado na subseção posterior deste trabalho.

A Figura 8 mostra os efeitos do choque exógeno de disponibilidade hídrica sobre a renda das famílias na área de estudo. Os resultados demonstram que uma restrição no montante de água disponível semelhante àquela indicada por Moraes et al. (2021) provoca uma redução na renda de todas as famílias consideradas no MEGC. É possível notar que os mais prejudicados com uma restrição na disponibilidade hídrica são os pobres residentes no meio rural, os quais passam por uma redução de aproximadamente 0,53% na renda. Os resultados das simulações ainda demonstram que os não pobres residentes nas áreas urbanas e rurais são bastante prejudicados pela restrição de disponibilidade hídrica, tendo a sua renda reduzida em cerca de 0,36% em decorrência deste fenômeno. A menor perda de renda é obtida pelos pobres residentes no meio urbano, os quais têm a sua renda reduzida em aproximadamente 0,29% com a implantação da referida medida de gestão de recursos hídricos.

Estes resultados podem fornecer indícios de que um mecanismo de gestão da água fundamentado na busca pela minimização das perdas de volume dos reservatórios do Agreste/Leste pernambucano pode gerar um custo social associado às perdas de renda das famílias da área de estudo, principalmente no que diz respeito às famílias com renda *per capita* inferior à linha de pobreza residentes no meio rural. Tendo a pobreza como uma medida associada ao poder aquisitivo, estes resultados fornecem evidências de que um mecanismo de gestão baseado na restrição da disponibilidade hídrica pode produzir efeitos sobre a condição de pobreza das famílias da área de estudo, uma vez que estas famílias têm o seu poder de compra reduzido com a ocorrência deste fenômeno. Em vista destes resultados, reforça-se o que foi especificado por Bedran-Martins e Lemos (2017) para o Nordeste brasileiro, os quais apontam que os fenômenos associados à escassez hídrica e à prevalência da escassez de recursos hídricos conduzem a uma necessidade de aplicação de medidas que visem compensar a perda de renda das famílias da região decorrentes destes fenômenos.

Em resumo, os resultados apresentados na Figura 8 permitem informar aos agentes reguladores que a minimização das perdas de volume dos reservatórios do Agreste/Leste pernambucano, quando fundamentada em um mecanismo de gestão pautado na restrição da disponibilidade hídrica gera reduções na renda das famílias, podendo atuar como um fator de potencialização da pobreza, principalmente no que diz respeito à condição de pobreza dos residentes nas áreas rurais.

Figura 8 – Efeitos de uma restrição da oferta de recursos hídricos sobre a renda das famílias.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

Tendo encontrado as variações nos níveis de renda das famílias é possível mensurar também a variação ocorrida nos níveis de bem-estar destes agentes. Uma maneira convencional de realizar tal processo é através do cálculo de uma medida de variação equivalente. De uma maneira geral, a variação equivalente mostra o quanto a renda das famílias deveria ser penalizada no cenário base para que a utilidade das famílias fosse igual àquela apresentada após a aplicação do choque exógeno. Em resumo, a variação equivalente mostra a mudança da renda das famílias no cenário base necessária para obter o mesmo nível de utilidade obtido na ocorrência de uma restrição da disponibilidade de recursos hídricos. A Figura 9 apresenta os resultados deste procedimento.

Os resultados evidenciam que a aplicação de uma medida de gestão dos recursos hídricos pautada na restrição da disponibilidade de água com o objetivo de reduzir as perdas de volume dos reservatórios do Agreste/Leste pernambucano reduz

o bem-estar de todas as famílias consideradas no MEGC, de modo que, as maiores perdas de bem-estar ocorrem para os pobres residentes no meio rural, para os quais obteve-se uma variação equivalente igual a -0,22% da renda destas famílias no cenário base. Em ordem decrescente de perda de bem-estar estão as famílias não pobres residentes no meio urbano, os pobres residentes no meio urbano e as famílias não pobres residentes em áreas rurais.

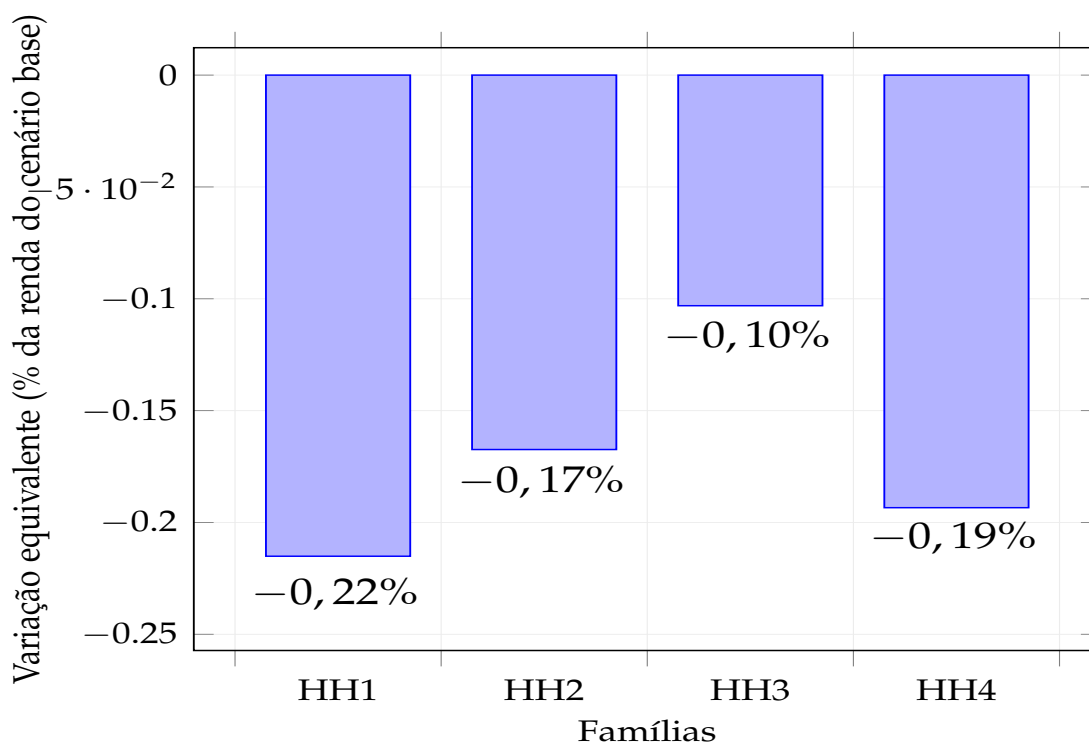
Em resumo, os resultados apresentados na Figura 9 demonstram que uma restrição da disponibilidade de recursos hídricos ocasiona uma queda no padrão de consumo das famílias da área de estudo e uma redução nos seus respectivos níveis de bem-estar. Contudo, os resultados mostram que as variações de bem-estar podem apresentar-se de diferentes maneiras a depender da situação censitária das famílias. Especificamente, no meio rural as famílias pobres são aquelas que sofrem a maior perda de bem-estar, enquanto no meio urbano os não pobres são mais penalizados com a ocorrência de uma restrição da disponibilidade hídrica, apresentando uma perda de bem-estar relativamente superior aos pobres que também residem nas áreas urbanas.

Em uma comparação com a Figura 8 é fácil notar que embora os não pobres do meio urbano apresentem uma perda de renda praticamente igual à redução da renda dos não pobres residentes nas áreas rurais, a restrição na disponibilidade hídrica penaliza o bem-estar das famílias não pobres do meio urbano em uma magnitude superior, em termos absolutos, à variação observada para com o bem-estar dos não pobres que residem nesta mesma situação censitária. Este resultado pode estar associado aos produtos que constituem a cesta de consumo representativa das famílias consideradas no MEGC, de modo que, os produtos que compõem a cesta de consumo das famílias não pobres residentes em áreas urbanas podem ser advindos de setores em que, com a aplicação do choque exógeno de disponibilidade hídrica, os preços relativos dos produtos variam positivamente em uma maior proporção em relação aos preços relativos dos produtos que compõem a cesta representativa das famílias não pobres residentes no meio rural. Assim, embora o choque negativo de disponibilidade hídrica reduza a renda dos não pobres do meio urbano e do meio rural praticamente na mesma proporção, em termos absolutos, à perda de renda dos não pobres do meio rural, esta diferença não implica necessariamente no mesmo padrão para com as variações de bem-estar das famílias, uma vez que as mudanças nos preços relativos dos produtos que compõem as cestas de consumo representativas podem ocasionar diferentes variações no montante consumido por cada família.

Este resultado permite afirmar que caso os agentes que atuam no âmbito das políticas sociais estejam interessados em reduzir as perdas de bem-estar das famílias da área de estudo decorrentes da restrição de disponibilidade hídrica, é preciso que as intervenções estejam em linha com as heterogeneidades dos efeitos da redução

do montante de água disponível sobre as condições de pobreza e situação censitária das famílias. Este alinhamento poderia possibilitar uma maior eficiência nas medidas implementadas e uma melhor distribuição dos seus resultados.

Figura 9 – Efeitos de uma restrição da oferta de recursos hídricos sobre o bem-estar das famílias.



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

4.2.2 Realocação da água entre as firmas representativas (Cenário 2)

Esta subseção busca demonstrar quais seriam os principais efeitos de possíveis medidas de gestão dos recursos hídricos que poderiam ser tomadas pelos agentes reguladores da área de estudo. As simulações têm o objetivo de fornecer uma informação sobre o efeito destas medidas sobre variáveis sociais e econômicas, a saber, produção setorial, PIB, renda das famílias e bem-estar social.

Considere inicialmente o caso em que os agentes reguladores disponham de mecanismos para manter constante o montante de água disponibilizado para as firmas representativas que compõem a indústria do Agreste/Leste pernambucano, enquanto os demais setores da economia continuam sendo expostos ao choque negativo de disponibilidade hídrica expresso no cenário 1, intensificado pela perda de disponibilidade de água necessária para manter constante o montante de recursos hídricos ofertado à indústria no cenário base. Em outras palavras, considere que os agentes reguladores estejam interessados em suprir as perdas de disponibilidade de água da indústria

diante de um cenário de restrição de uso da água na área de estudo em detrimento da disponibilidade hídrica destinada à agricultura e ao setor de serviços.

Para modelar este cenário, as equações de oferta de água dos setores que compõem a indústria permaneceram inalteradas, implicando no fato de que este setor possui na simulação a mesma disponibilidade de água do cenário base. Para os demais setores da economia, as equações de oferta de água foram remodeladas para agrupar uma redução da disponibilidade hídrica equivalente àquela representada na subseção anterior, aderida de uma taxa de restrição necessária para extrair destes setores o montante de água necessário para manter constante a disponibilidade hídrica da indústria. Os resultados encontrados com esta simulação mostram que manter a disponibilidade de água do setor industrial inalterada em detrimento da disponibilidade hídrica dos demais setores em um período de restrição do uso da água gera uma redução de aproximadamente 0,98% no PIB da área de estudo em uma comparação com o cenário base. É importante destacar que embora haja uma significativa redução do produto, esta variação negativa ocorre em um percentual maior, em termos absolutos, se comparada com a variação do PIB no cenário em que não havia a manutenção da disponibilidade de água para a indústria. A título de esclarecimento, no cenário em que os agentes reguladores intervêm de modo a manter a disponibilidade de água da indústria constante, existe uma perda de produto de aproximadamente 0,53% em comparação com o valor do PIB observado no cenário onde a restrição de uso da água ocorria para todos os setores.

Estes resultados permitem afirmar que caso o objetivo dos agentes reguladores seja restringir a disponibilidade hídrica para com as firmas do Agreste/Leste pernambucano com exceção da indústria, é necessário aceitar as perdas de produção bruta decorrentes das restrições de uso econômico da água impostas aos demais setores econômicos. Embora as variações negativas de produto obtidas no cenário 2 em uma comparação com o cenário 1 sejam relativamente pequenas, manter a disponibilidade de água da indústria constante em detrimento do montante de água disponibilizado para os demais setores em um cenário de restrição de uso da água acarreta em uma perda de produto de aproximadamente R\$ 349,12 milhões em uma comparação com o cenário em que a restrição de disponibilidade hídrica ocorria para todos os setores. Assim, os resultados sugerem que em termos de produção bruta, é mais vantajoso restringir a disponibilidade de água para todas as firmas da área de estudo do que manter constante a disponibilidade hídrica da indústria em detrimento do montante de água disponibilizado para as demais firmas representativas.

Uma visão mais detalhada sobre os efeitos de uma intervenção na disponibilidade de recursos hídricos por meio da manutenção do montante de água disponibilizado para a indústria sobre a produção setorial pode ser obtida por meio de uma

análise da Figura 10. Nela estão demonstradas as variações na produção setorial obtidas com a simulação do choque de disponibilidade hídrica anteriormente mencionado em uma comparação com o cenário base (painel (a)) e com o cenário 1 (painel (b)). Os resultados apresentados no painel (a) demonstram que restringir a disponibilidade setorial de água de modo a manter constante o montante de água disponibilizado para o setor industrial gera efeitos negativos sobre a produção da agricultura, da indústria e do setor de serviços. É possível notar que a prevalência do consumo de água da indústria intensifica as perdas de produção do setor agrícola obtidas no cenário 1, de modo que o setor industrial ainda apresenta a segunda maior queda de produção setorial com o choque exógeno de disponibilidade hídrica, tendo a sua produção reduzida em aproximadamente 0,68% em uma comparação com a produção setorial do cenário de referência. O macro-setor mais prejudicado em termos de produção setorial é a agricultura, a qual passa por uma redução de aproximadamente 13,6% na produção setorial em uma comparação com o cenário base.

Os resultados apresentados no painel (b) demonstram as variações na produção setorial em uma comparação com o cenário em que a restrição do uso da água ocorre sem que haja a manutenção da disponibilidade de água da indústria. Neste caso, os resultados das simulações do cenário 2 mostram que restringir a disponibilidade global de água, mantendo constante o montante de água disponibilizado para as firmas representativas do setor industrial gera uma perda de produção tanto na agricultura quanto na indústria e no setor de serviços. É possível notar que as maiores perdas de produção ocorrem na agricultura, onde a produção setorial cai aproximadamente 10,77% quando comparado aos resultados do cenário 1. Em ordem decrescente de perda de produção estão a indústria e o setor de serviços, com um queda de produção de 4,90% e 0,07%, aproximadamente.

Em suma, os resultados mostram que, em termos de produção setorial, manter constante a disponibilidade de água da indústria em detrimento do montante de água disponibilizado para os demais setores em um período de restrição hídrica é uma medida potencialmente prejudicial à agricultura, uma vez que as firmas representativas deste macro-setor apresentam a maior queda de produção decorrentes da aplicação do choque de disponibilidade hídrica simulado nesta subseção. Teoricamente, este resultado pode estar associado à necessidade de realocação de água da agricultura para a indústria impostas no choque de disponibilidade hídrica, uma vez que a produção agrícola é mais sensível às alterações na oferta hídrica. Assim, uma intensificação da redução da oferta de água na agricultura potencializa os efeitos negativos da restrição de disponibilidade hídrica sobre a produção agrícola demonstrados no cenário 1.

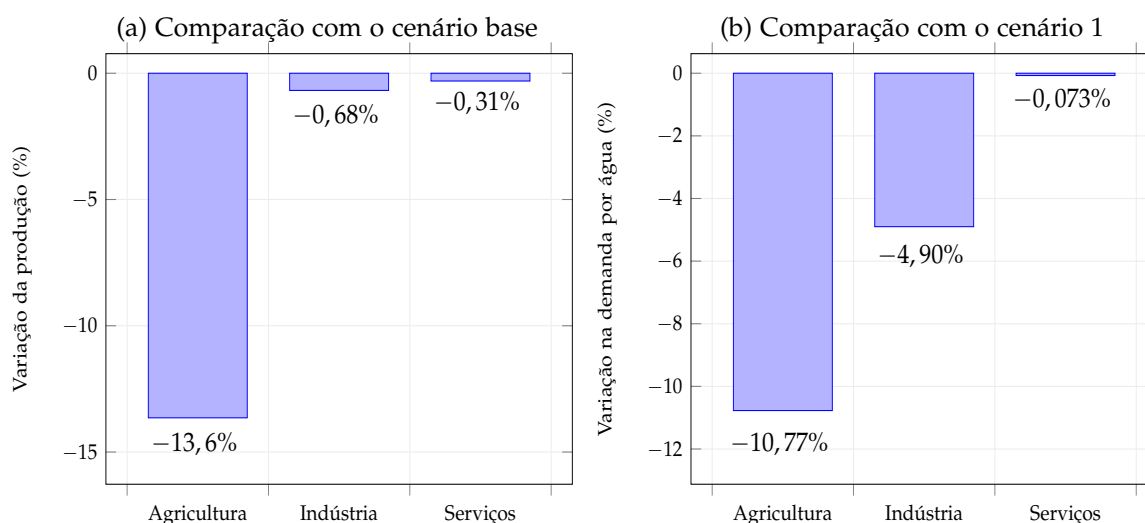
É importante destacar que uma intervenção pautada na manutenção da disponibilidade de água da indústria gera efeitos negativos não somente sobre a produção da

agricultura e dos serviços, mas também sobre a própria produção do setor industrial. Em uma comparação com o cenário 1, os resultados apresentados na Figura 7 mostram que mesmo mantendo a disponibilidade hídrica constante para a indústria, a produção das firmas representativas deste macrossetor cai aproximadamente 4,90% com a aplicação do choque de disponibilidade hídrica simulado nesta subseção. Este resultado pode estar associado às relações comerciais realizadas entre a indústria e a agricultura e pelas interdependências econômicas capturadas pelo MEGC para com estes dois setores. Assim, com uma maior queda na produção agrícola, os fluxos comerciais entre agricultura e indústria podem ser reduzidos ao ponto em que os ganhos de produção da indústria advindos da manutenção da disponibilidade hídrica sejam superados pelas perdas de produção decorrentes das reduções nas relações comerciais com a agricultura.

Este resultado também deixa evidente que além dos efeitos diretos (efeitos sobre a produção do próprio setor beneficiado), uma intervenção sobre a disponibilidade de água gera também efeitos indiretos (efeitos sobre a produção dos demais setores), que neste caso são majoritariamente negativos quando a intervenção ocorre no sentido de suprir a perda de disponibilidade de água da indústria em detrimento do montante de água disponibilizado para a agricultura e do setor de serviços.

Em resumo, os resultados obtidos com as simulações para com a produção setorial demonstram que caso o objetivo dos agentes reguladores seja minimizar as perdas de produto da grande maioria dos setores da economia modelada frente a um mecanismo de gestão pautado na redução da disponibilidade de recursos hídricos, então é mais vantajoso expor todos os setores à restrição de disponibilidade hídrica do que manter constante a disponibilidade hídrica da indústria em detrimento da água disponibilizada para os demais setores.

Figura 10 – Efeitos de uma restrição na oferta de água sobre a produção setorial (Cenário 2).

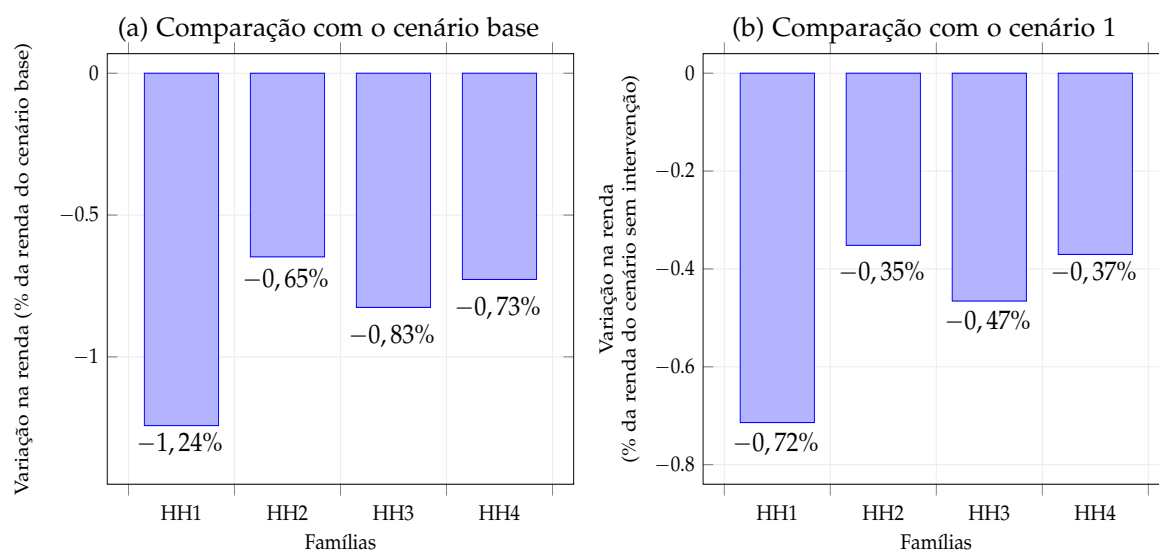


Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

A Figura 11 mostra as variações na renda das famílias obtidas na simulação do cenário 2. Na primeira parte da figura, o painel (a) mostra a variação na renda das famílias em comparação com o cenário base. Os resultados demonstram que mesmo com a manutenção da disponibilidade de água para com a indústria, a variação na renda é negativa para todas as famílias consideradas no modelo. Neste caso, os mais prejudicados com a restrição da disponibilidade de água são os pobres residentes no meio rural, os quais têm a sua renda reduzida em aproximadamente 1,24%. Em ordem decrescente de perda de renda estão os não pobres residentes nas áreas rurais (-0,47%), os não pobres do meio urbano (-0,37%) e os pobres residentes no meio urbano (-0,35%).

É importante destacar que embora as variações na renda apresentadas no painel (a) da Figura 11 sejam negativas para todas as famílias, estas variações são maiores, em termos absolutos, do que aquelas obtidas mediante a intervenção simulada no cenário 1. Este resultado é representado de maneira mais clara no painel (b), onde estão apresentadas as variações na renda das famílias em relação ao cenário em que é feita uma simulação de uma restrição global da disponibilidade de água (cenário 1). Os resultados sugerem que há uma piora na renda de todas as famílias consideradas no MEGC quando ocorre a intervenção anteriormente citada. É possível visualizar que os mais prejudicados com a intervenção são as famílias pobres residentes nas áreas rurais, as quais apresentam uma perda de renda de aproximadamente 0,72% em uma comparação com a simulação em que a indústria também estava exposta à restrição delimitada na simulação. Em ordem decrescente de perda de renda em relação ao cenário 1 estão os não pobres do meio rural (-0,47%), os não pobres do meio urbano (-0,37%) e os pobres do meio urbano (-0,35%).

Figura 11 – Efeitos de uma restrição na oferta global de água sobre a renda das famílias (Cenário 2).



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

A Figura 12 mostra uma medida de bem-estar das famílias baseada na variação equivalente obtida no cenário 2 em uma comparação com o cenário base e os resultados obtidos com a simulação do cenário 1. Os resultados do painel (a) demonstram que mesmo com a manutenção da disponibilidade de água da indústria, existe uma queda de bem-estar das famílias consideradas no MEGC quando comparado com o cenário de referência. É possível notar que neste caso, a perda de bem-estar das famílias pobres residentes nas áreas rurais é a maior, em termos absolutos, dentre as demais famílias consideradas no modelo. Este resultado sugere que mesmo com uma realocação intersetorial da água, os pobres residentes nas áreas rurais continuam sendo os mais prejudicados com uma eventual restrição na disponibilidade hídrica. As perdas de bem-estar também são intensificadas quando comparadas com os resultados apontados na Figura 9. Neste caso, é fácil visualizar que a manutenção da disponibilidade de água da indústria intensifica as reduções de bem-estar observadas para todas as famílias consideradas no MEGC.

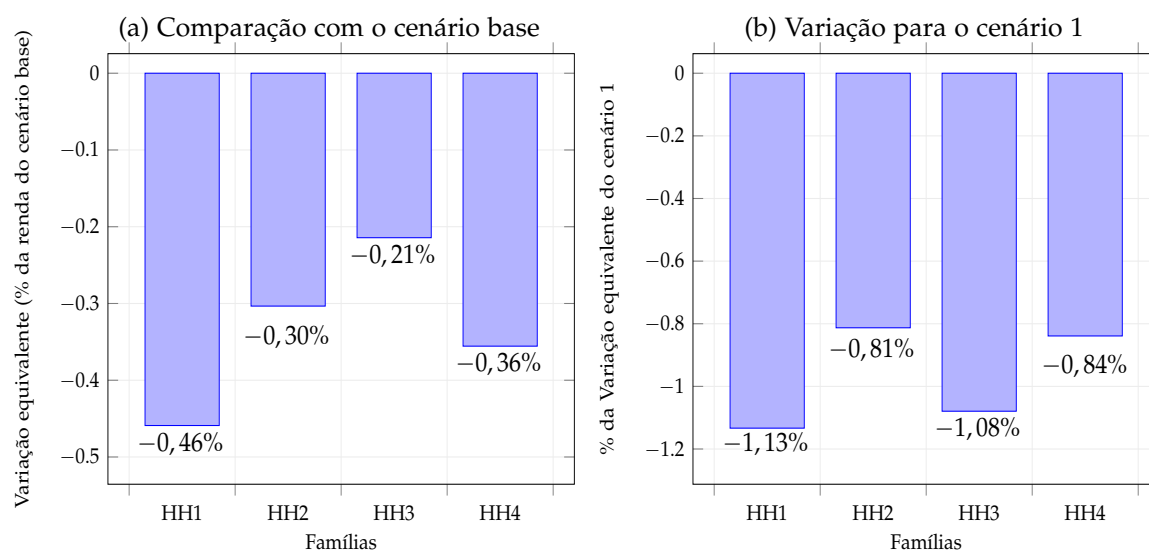
De uma maneira geral, as perdas de bem-estar obtidas no cenário 2 são maiores, em termos absolutos, quando comparadas às variações negativas de bem-estar obtidas no cenário 1. No painel (b) da Figura 12 estão apresentados os resultados das variações de bem-estar das famílias em uma comparação com as variações equivalentes obtidas no cenário 1. Os resultados demonstram que quando ocorre a intervenção no sentido de repor as perdas de disponibilidade de água da indústria, existe uma queda generalizada no bem-estar das famílias em comparação com os níveis de bem-estar obtidos quando a restrição da disponibilidade de recursos hídricos ocorre para todos os setores. De uma maneira geral, os resultados mostram que quando há o gerenciamento simulado

nesta subseção, existe uma intensificação da perda de bem-estar que se apresenta de maneira mais severa para os pobres e não pobres residentes no meio rural.

Estes resultados demonstram que as perdas de produto, renda e bem-estar social oriundas de um mecanismo de gestão baseado na restrição da oferta de água podem ser intensificadas por meio de políticas de gerenciamento dos recursos hídricos direcionadas para o suprimento das perdas de oferta de água da indústria. Os resultados também fornecem evidências de que caso o objetivo dos agentes reguladores do Agreste/Leste pernambucano seja suprir as perdas de disponibilidade hídrica da indústria em detrimento do uso da água dos demais setores é preciso aceitar perdas significativas de produto, renda e bem-estar social. Além disso, os resultados ainda sugerem que caso o objetivo dos agentes reguladores seja minimizar as perdas de produto, renda e bem-estar-social advindas de um cenário de restrição da disponibilidade hídrica no Agreste/Leste pernambucano, então é mais viável expor todas as firmas à restrição de uso da água do que suprir as perdas de disponibilidade de água da indústria em detrimento da água disponibilizada para os demais setores.

É importante destacar que embora os efeitos das políticas de gestão de recursos hídricos sobre a produção seja o principal objeto de estudo da maioria dos trabalhos centrados na temática do equilíbrio geral disponíveis na literatura, não se pode desprezar as implicações de tais medidas sobre os indicadores socioeconômicos tais como os mencionados no presente estudo. Ressalta-se que os efeitos indiretos de uma medida de gestão da oferta de recursos hídricos ocorrem não somente sobre a produção setorial, mas também sobre o bem-estar social e a qualidade de vida das famílias. Assim, cabe destacar que os resultados encontrados no presente trabalho indicam que a implantação de um mecanismo de gestão da oferta de água para o uso econômico gera efeitos diretos e indiretos sobre a produção das empresas, e conduz a uma série de efeitos sobre os indicadores de renda e bem-estar social das famílias.

Figura 12 – Efeitos de uma restrição da oferta de água sobre o bem-estar das famílias (Cenário 2).



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

4.2.3 Realocação da água entre as firmas representativas (cenário 3)

Esta subseção busca verificar os efeitos de uma medida de gestão dos recursos hídricos no Agreste/Leste pernambucano baseada na realocação setorial da disponibilidade de água com a finalidade de suprir as perdas de disponibilidade hídrica da agricultura decorrentes de um cenário de restrição da disponibilidade hídrica semelhante à taxa ótima de restrição indicada por Moraes et al. (2021). Em outras palavras, busca-se demonstrar como a realocação da água da indústria e do setor de serviços para a agricultura atua sobre os indicadores de produção e bem-estar social em um cenário de restrição da disponibilidade hídrica.

A Figura 13 mostra os efeitos de uma realocação da água entre os setores visando beneficiar as firmas agrícolas em um contexto de restrição do uso da água semelhante àquele apresentado no cenário 1. Como o choque de disponibilidade hídrica do cenário 1 é fundamentado na taxa ótima de restrição indicada por Moraes et al. (2021), os resultados das simulações apresentados na Figura 13 mostram o que ocorreria com a produção setorial caso a disponibilidade de água do setor agrícola permanecesse constante em detrimento do uso da água dos demais setores, enquanto as firmas que não desenvolvem atividades agrícolas estão expostas a uma restrição de uso da água imposta pelos tomadores de decisão com o objetivo de minimizar as perdas de volume dos reservatórios do Agreste/Leste pernambucano.

O painel (a) da Figura 13 mostra as variações na produção setorial em uma comparação com o cenário de referência. É possível notar que as perdas de produto da agricultura são reduzidas a um patamar próximo de zero, embora ainda haja

uma pequena perda de produção. Como os demais setores são expostos à restrição global de disponibilidade de água demonstrada na Equação 3.33 aderido de uma perda de disponibilidade hídrica destinada à manutenção do montante de água disponibilizado para a agricultura, o valor negativo da variação na produção agrícola pode ser explicado pelas relações intersetoriais entre a agricultura e os demais setores, isto é, embora a disponibilidade de água do cenário de referência seja mantido para as firmas representativas do setor agrícola, estes agentes realizam transações comerciais com os demais setores, os quais podem apresentar uma variação positiva nos preços relativos dos seus produtos, encarecendo as transações intersetoriais, elevando os custos transacionais e reduzindo, conseqüentemente, o valor da produção da agricultura.

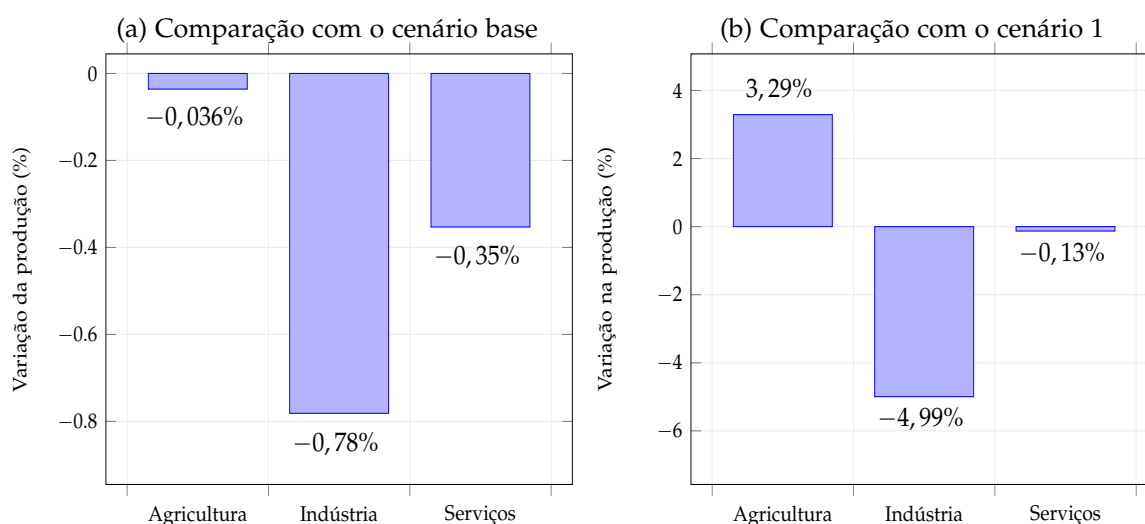
O painel (b) mostra as variações na produção setorial decorrentes de uma realocação de água entre as firmas não agrícolas e as firmas agrícolas em uma comparação com o cenário 1. Neste caso, o objetivo é demonstrar as variações na produção setorial ocorridas quando uma restrição da disponibilidade hídrica com o intuito de minimizar as perdas de volume dos reservatórios é colocada em prática, ao mesmo tempo em que a disponibilidade de água é garantida para a agricultura em detrimento da oferta de água para a indústria e o setor de serviços. Os resultados mostram que em uma comparação com o cenário em que a restrição ocorria sem a realocação da água, existe um ganho de 3,29% na produção agrícola, evidenciando que, caso o objetivo dos tomadores de decisão seja minimizar as perdas de produção das empresas que desenvolvem atividades agrícolas quando uma política de restrição do uso da água está em vigência, então garantir a disponibilidade de água da agricultura em detrimento da disponibilidade de água dos demais setores pode ser uma possível alternativa para alcançar tal objetivo.

Os resultados apresentados no painel (b) da Figura 13 ainda demonstram que a indústria é o macro-setor mais prejudicado com a realocação da oferta de água que beneficia o setor agrícola, apresentando uma perda de produção de 4,99%. As firmas que compõem o setor de serviços, entretanto, são impactadas em uma proporção relativamente pequena, de modo que a perda total de produção do setor de serviços é de apenas 0,13%. Os resultados sugerem, portanto, que manter constante a disponibilidade de água da agricultura em detrimento do montante de água disponibilizado para os demais setores durante a aplicação de uma medida de restrição da disponibilidade hídrica acarreta em perdas significativas de produção na indústria do Agreste/Leste pernambucano. Assim, os resultados evidenciam que uma eventual realocação de água visando beneficiar a produção agrícola deve ser acompanhada de medidas que permitam minimizar as perdas de produção da indústria na área de estudo.

Em termos de PIB, a realocação de que trata a simulação do cenário 3 acarreta em uma redução de 0,27% e 0,07% no PIB da área de estudo em uma comparação com

o cenário base e o cenário 1, respectivamente. Com isso, é possível concluir que embora as perdas de produto da agricultura sejam reduzidas a um patamar próximo de zero, manter constante a disponibilidade de água das firmas agrícolas em detrimento do montante de água disponibilizado para os demais setores em um período de aplicação de uma medida de restrição do uso da água, estes ganhos de produção do setor agrícola não são suficientes para compensar as perdas de produto da indústria e do setor de serviços do Agreste/Leste pernambucano. Portanto, caso os tomadores de decisão objetivem beneficiar a agricultura em um período de restrição da disponibilidade de água sem que haja instrumentos de gestão adicionais para minimizar as perdas de produção dos demais setores, é preciso aceitar uma perda de produto na região.

Figura 13 – Efeitos de uma restrição da oferta de água sobre a produção setorial (Cenário 3).



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

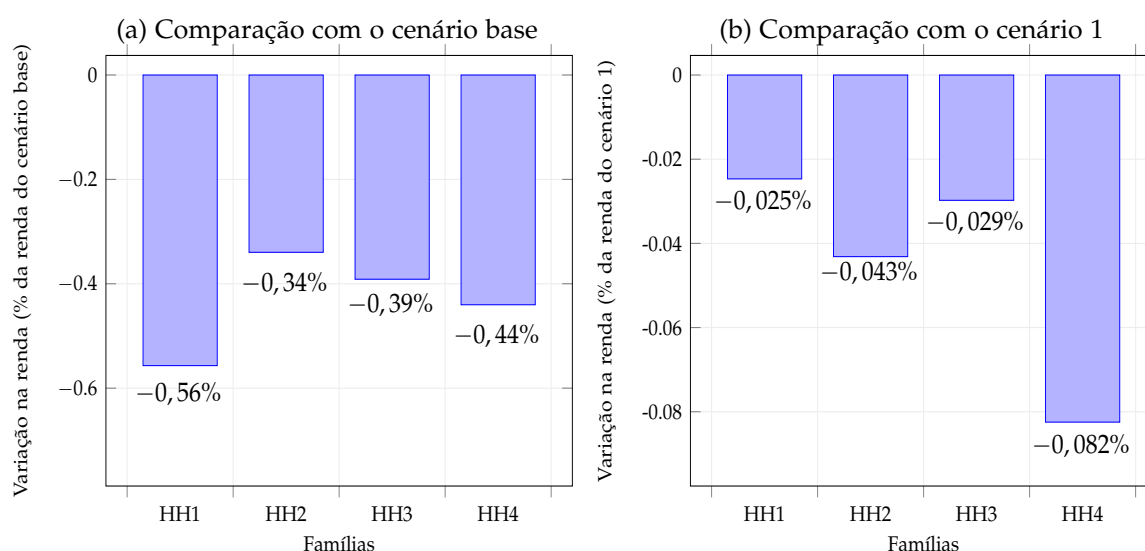
Estes resultados demonstram, portanto, que há um efeito *trade-off* na produção setorial decorrente da realocação da disponibilidade de água, isto é, caso o objetivo dos tomadores de decisão seja minimizar as perdas de produto da agricultura mantendo constante a disponibilidade de água das firmas deste setor em detrimento do montante de água disponibilizado para as demais firmas, então é preciso aceitar uma perda significativa de produto das firmas que passam por uma redução na disponibilidade hídrica.

Na Figura 14 estão demonstrados os resultados das simulações do cenário 3 sobre a renda das famílias em uma comparação com o cenário de referência e o cenário 1. No painel (a) estão demonstradas as variações na renda das famílias em uma comparação com o cenário base. Os resultados demonstram que uma realocação de água com a finalidade de beneficiar as empresas agrícolas em um período de restrição da disponibilidade de água gera uma redução na renda das famílias consideradas no

MEGC. É possível notar que as famílias pobres residentes nas áreas rurais são as mais afetadas com a aplicação deste mecanismo de gestão dos recursos hídricos, tendo a sua renda reduzida em aproximadamente 0,56%. Em ordem decrescente de perda de renda estão os não pobres residentes nas áreas urbanas (-0,44%), os não pobres do meio rural (-0,39%) e os pobres das áreas urbanas (-0,34%).

Comparando estes resultados com aqueles apresentados na Figura 11 é fácil notar que a realocação simulada neste cenário intensifica mais ainda as perdas de renda das famílias quando comparado com o cenário em que a restrição da disponibilidade de água ocorria sem que houvesse a realocação. Esta conclusão pode ser melhor visualizada no painel (b), onde estão demonstradas as variações na renda das famílias em comparação com a renda do cenário 1. É possível notar que existe, de fato, uma redução na renda das famílias. Porém, os resultados sugerem que esta redução é praticamente nula quando comparado com o cenário em que a restrição da disponibilidade de água ocorre sem que haja a realocação. Assim, é possível afirmar que, em um cenário de restrição da disponibilidade de água, caso os agentes tomadores de decisão objetivem reduzir as perdas de produção da agricultura sem que haja perdas significativas de renda das famílias, então uma realocação da disponibilidade de água da indústria e do setor de serviços para a agricultura pode ser uma alternativa para alcançar tal objetivo.

Figura 14 – Efeitos de uma restrição na oferta de água sobre a renda das famílias (Cenário 3).



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

A Figura 15 mostra os resultados das variações no bem estar das famílias decorrentes de uma realocação da oferta de água da indústria e do setor de serviços para a agricultura em um contexto de restrição do uso econômico da água por meio

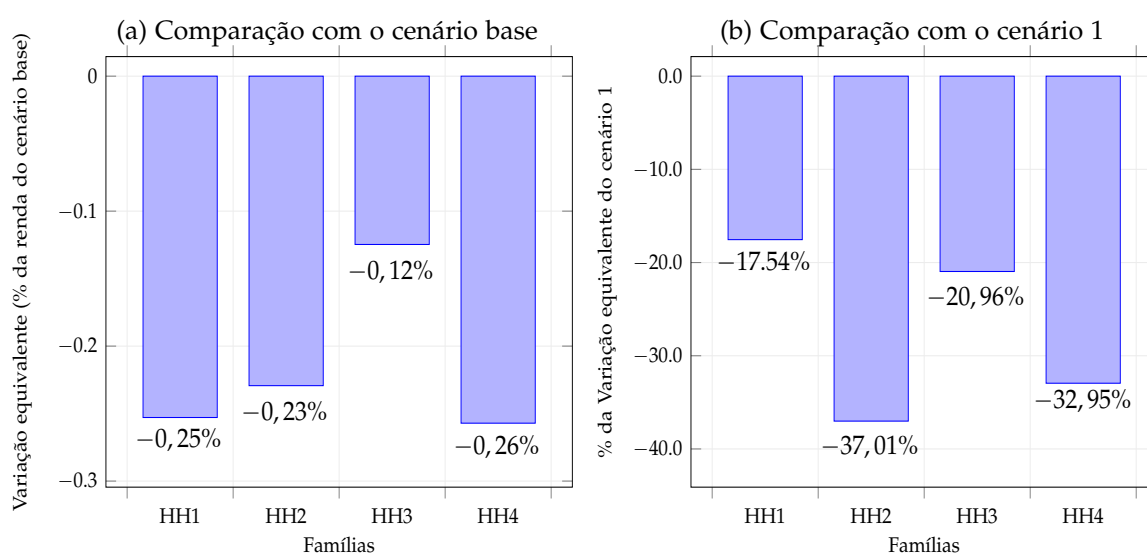
de uma comparação com o cenário de referência e o cenário 1. O painel (a) mostra as variações no bem-estar das famílias em termos de variação equivalente em uma comparação com o cenário base. Os resultados demonstram que a realocação da disponibilidade de água com o intuito de beneficiar a agricultura em detrimento do uso da água dos demais setores gera uma perda generalizada de bem-estar em relação ao cenário de referência. Observa-se que as maiores perdas de bem-estar ocorrem para com as famílias não pobres que residem no meio urbano da área de estudo, os quais têm o seu bem-estar reduzido em aproximadamente 0,26%. Este resultado implica no fato de que a renda destes agentes no cenário base deveria passar por uma redução de 0,26% para que fosse obtido o mesmo nível de utilidade do cenário em que há uma restrição na disponibilidade de recursos hídricos em conjunto com uma política de realocação da disponibilidade de água.

Quando comparado com os resultados da Figura 12, as informações apresentadas no painel (b) da Figura 15 permitem concluir que priorizar a disponibilidade de água da agricultura em detrimento do montante de água disponibilizado para os demais setores em um cenário de restrição do uso dos recursos hídricos acarreta em uma perda generalizada de bem-estar em comparação com o caso em que a restrição ocorre sem uma medida de realocação. Este resultado pode ser melhor visualizado no painel (b), onde estão demonstradas as mudanças percentuais na variação equivalente das famílias em uma comparação entre os cenários 3 e 1. Os resultados sugerem que há uma perda de bem-estar, uma vez que as variações equivalentes obtidas no cenário 3 são menores, em termos nominais, do que as variações equivalentes obtidas no cenário 1. Em resumo, estes resultados mostram que com a implementação da realocação da água que beneficia a agricultura, a renda das famílias no cenário base precisaria passar por uma redução superior àquela observada no cenário 1 para que a utilidade das famílias no cenário base se tornasse equivalente aos níveis de utilidade obtidos nas simulações abordadas no cenário 3.

É importante notar que as perdas de bem-estar das famílias são significativamente intensificadas quando a restrição da disponibilidade de água é acompanhada de uma realocação da água da indústria e do setor de serviços para o suprimento das perdas de disponibilidade de água da agricultura. Este resultado pode ser explicado por uma eventual maior participação dos produtos ofertados pela indústria e pelo setor de serviços na cesta de consumo representativa das famílias em uma comparação com a participação dos produtos agrícolas. Neste caso, o aumento dos preços relativos dos produtos produzidos pelos setores não agrícolas tendem a reduzir o poder de compra das famílias para com os produtos advindos destes setores. Caso o ganho de consumo dos produtos agrícolas não sejam suficientes para compensar as perdas de consumo dos setores não agrícolas, então o resultado esperado é uma redução do montante consumido e, conseqüentemente, do bem-estar das famílias.

Assim, é possível afirmar que, caso uma medida de gestão de recursos hídricos pautada na restrição da oferta de água esteja sendo executada no Agreste/Leste pernambucano, e se o objetivo dos tomadores de decisão é minimizar as perdas de produto da agricultura advindas da restrição da disponibilidade de água, então é preciso criar mecanismos que permitam a minimização das perdas de bem-estar oriundas da realocação de água simulada neste cenário.

Figura 15 – Efeitos de uma restrição da oferta de água sobre o bem-estar das famílias (Cenário 3).



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

4.2.4 Choque de produtividade (cenário 4)

Este cenário tem o objetivo de analisar como um choque positivo de produtividade atua sobre os indicadores de produção e bem-estar social na área de estudo em um cenário de restrição da disponibilidade de recursos hídricos. Mais precisamente, busca-se obter a magnitude de um eventual choque de produtividade capaz de tornar nulos os efeitos da restrição de disponibilidade hídrica imposta no cenário número 1. Este cenário possibilita obter uma contribuição para com a literatura acerca das relações entre escassez hídrica, restrição do uso da água e produtividade, estendendo as discussões de trabalhos existentes² para as aplicações em equilíbrio geral.

A Figura 16 mostra as variações na produção setorial e no PIB da área de estudo decorrentes de um choque de produtividade conforme especificado na subseção que trata das simulações. Foram considerados os casos em que o parâmetro de produtividade total dos fatores das empresas representativas varia positivamente em uma escala de 0,1% até 5%. No painel (a) é possível notar que as empresas agrícolas

² Por exemplo, Rodrigues e Pereira (2009), Roson e Damania (2016), Roson (2019), Marston et al. (2020) e Ali et al. (2007).

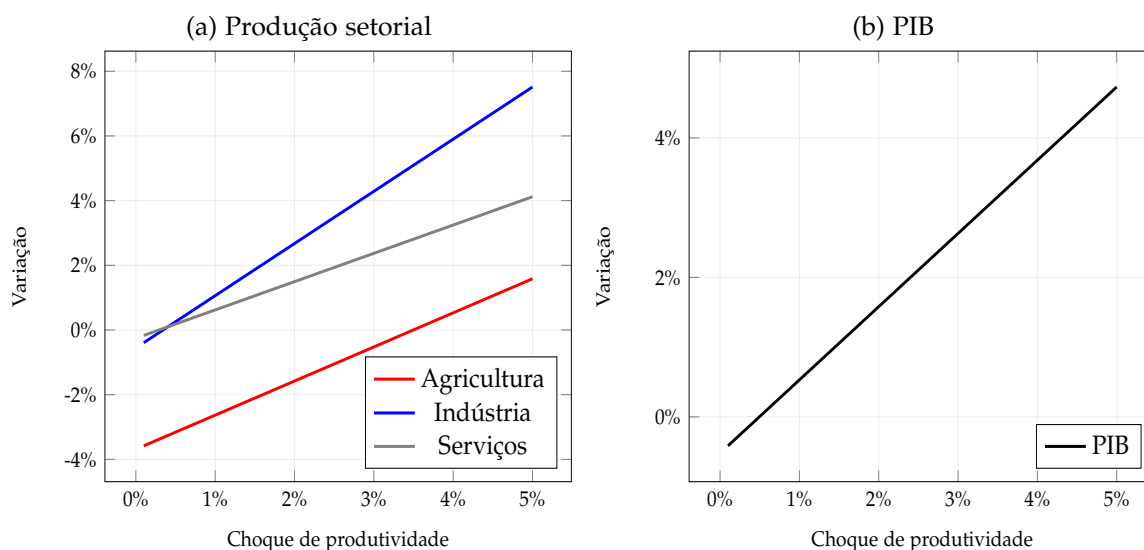
precisam de um maior ganho de produtividade para reduzir a zero as perdas de produção decorrentes da restrição de disponibilidade hídrica imposta no cenário 1. Em contrapartida, o setor de serviços da área de estudo precisa ter os menores ganhos de produtividade para que uma restrição da disponibilidade de água não provoque variações significativas na produção. De maneira detalhada, a indústria e o setor de serviços necessitam de uma variação de menos de 0,5% na produtividade total dos fatores para que os ganhos de produção decorrentes desta variação compensem as perdas de produção decorrentes da restrição da disponibilidade de água simulada no cenário 1. Já a agricultura requer um aumento de mais de 3% na produtividade para que as perdas de produção oriundas de uma menor disponibilidade de água sejam reduzidas a zero.

O painel (b) mostra as variações no PIB da área de estudos decorrentes de um choque positivo na produtividade total dos fatores em um cenário de restrição da oferta de água semelhante ao especificado no cenário 1. Os resultados mostram que existe uma relação linear positiva e contínua entre a produtividade e o PIB. É fácil notar que um aumento de aproximadamente 0,5% na produtividade das firmas é o suficiente para tornar nulas as perdas de produto obtidas nas simulações do cenário 1. A partir deste ponto, maiores ganhos de produtividade implicam em variações positivas no PIB da região, mesmo que os tomadores de decisão optem por implementar a restrição de disponibilidade hídrica especificada no cenário 1.

Estes resultados sugerem que uma medida de gestão dos recursos hídricos pautada na restrição da disponibilidade de água com o intuito de minimizar as perdas de volume dos reservatórios pode ser implementada sem que haja perdas de produto no Agreste/Leste pernambucano, desde que haja um ganho de produtividade das firmas em um patamar superior a 1%. Com isso, é possível concluir também que uma restrição da disponibilidade de água semelhante àquela sugerida por Moraes et al. (2021) terá melhores resultados em termos de mudanças na produção setorial e no PIB do Agreste/Leste pernambucano quando acompanhada de uma medida de incentivo ao aumento da produtividade das firmas.

Cabe ressaltar que estes resultados estão em linha com as conclusões já existentes na literatura, como por exemplo, as considerações feitas por Roson e Damania (2016) e Roson (2019), os quais demonstram que as perdas de produção oriundas da escassez de recursos hídricos ou de uma restrição do uso da água podem ser minimizadas quando existem aumentos no nível de produtividade das firmas.

Figura 16 – Efeitos de um choque de produtividade em um cenário de restrição da oferta de água sobre a produção setorial (Cenário 4).



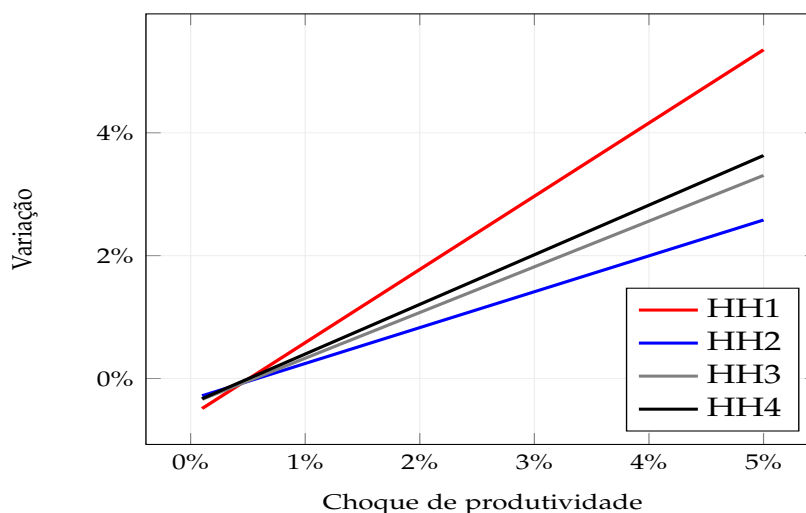
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

A Figura 17 mostra as variações na renda das famílias decorrentes de um choque positivo na produtividade total dos fatores em um cenário de restrição da disponibilidade de água. Os resultados demonstram que os choques positivos de produtividade geram maiores benefícios para os pobres residentes nas áreas rurais, os quais têm os maiores ganhos de renda conforme o choque positivo de produtividade é intensificado. É possível visualizar que um ganho de produtividade de aproximadamente 0,5% é suficiente para reduzir a zero as perdas de renda das famílias pobres que residem nas áreas rurais. Em contrapartida, os pobres residentes no meio urbano são menos beneficiados com os ganhos de produtividade das firmas, tendo a renda menos sensível às variações no parâmetro de produtividade e necessitando de aproximadamente 0,6% de ganho de produtividade por parte das firmas para zerar as perdas de renda decorrentes do choque de disponibilidade hídrica especificado no cenário 1. É possível notar também que os não pobres residentes nas áreas urbanas e rurais da área de estudo também precisam que o choque positivo de produtividade das firmas possua uma magnitude próxima a 0,5% para que não haja perdas de renda em um cenário de restrição da disponibilidade de água.

De maneira resumida, os resultados demonstrados na Figura 17 mostram que é preciso que haja um ganho de produtividade igual ou superior a 0,6% para que uma restrição da disponibilidade de água semelhante àquela sugerida por Moraes et al. (2021) não acarrete em perdas de renda das famílias da área de estudo. Com isso, conclui-se que um mecanismo de gestão de recursos hídricos pautado na restrição da disponibilidade de água no Agreste/Leste pernambucano não necessita da implantação de uma medida auxiliar de reposição da renda das famílias da área de estudo, desde

que haja um choque positivo de produtividade por parte das firmas pelo menos igual a 0,6%.

Figura 17 – Efeitos de um choque de produtividade em um cenário de restrição da oferta de água sobre a renda das famílias (Cenário 4).



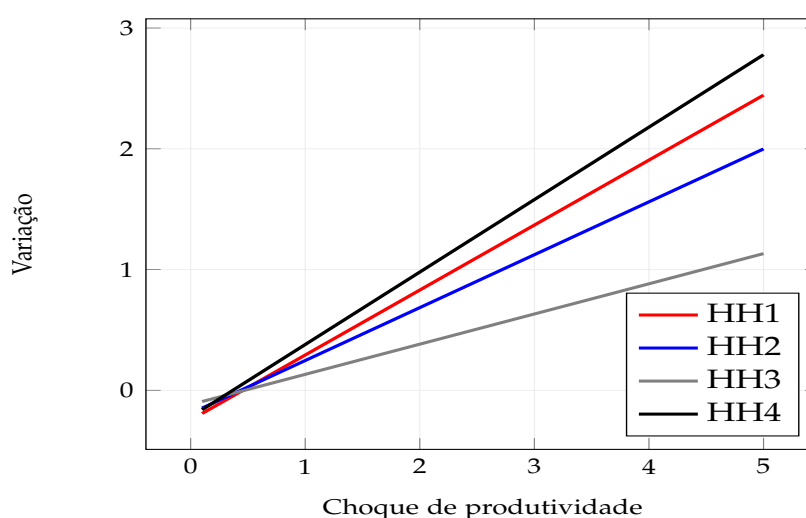
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

A Figura 18 mostra as variações no bem-estar das famílias decorrentes de um choque de produtividade em um contexto de restrição da disponibilidade de água semelhante ao cenário 1, em termos da variação equivalente. Os resultados demonstram que há um ganho crescente de bem-estar para todas as famílias representativas conforme a intensidade do choque de produtividade das firmas aumenta. É possível notar que as famílias não pobres residentes no meio urbano possuem uma maior sensibilidade às mudanças de produtividade das firmas, obtendo maiores níveis de bem-estar conforme os ganhos de produtividade se elevam. Em contrapartida, os ganhos de bem-estar dos não pobres residentes no meio rural da área de estudo ocorrem de maneira menos intensa quando o valor do choque positivo de produtividade aumenta.

Em tese, as diferentes respostas do bem-estar das famílias para com o choque positivo de produtividade das firmas podem ser explicadas pelas diferentes combinações de produtos que compõem as cestas de consumo representativas de cada família, de modo que, os preços relativos do produto produzido por cada firma representativa específica podem variar em diferentes proporções em uma resposta à restrição do uso da água e ao choque positivo de produtividade. Assim, os não pobres residentes nas áreas rurais podem consumir uma cesta representativa em que o aumento dos preços dos produtos decorrentes da restrição da oferta de água sejam compensados pelos ganhos de produtividade em uma magnitude inferior àquela observada mudanças de preços dos produtos que compõem a cesta representativa das demais famílias.

Comparando com os resultados esboçados na Figura 17, é possível notar que, embora seja necessário um choque positivo de produtividade superior a 0,6% para que as perdas de renda oriundas da restrição do uso econômico da água se tornem nulas, a redução total das perdas de bem-estar de todas as famílias representativas consideradas no MEGC pode ser obtida com um choque positivo de produtividade inferior a 0,5%. Com isso, os resultados apontam para a conclusão de que uma restrição do uso da água como medida de minimização das perdas de volume dos reservatórios do Agreste/Leste pernambucano pode ser implementada sem que haja perdas de renda e bem-estar social caso haja um ganho de produtividade por parte das firmas pelo menos igual a 0,6%.

Figura 18 – Efeitos de um choque de produtividade em um cenário de restrição da oferta de água sobre o bem-estar das famílias (Cenário 4).



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

Em resumo, os resultados obtidos com as simulações do cenário 4 mostram que uma restrição na oferta de água com foco na minimização das perdas de volume dos reservatórios do Agreste/Leste pernambucano terão melhores implicações do ponto de vista socioeconômico quanto implementadas em conjunto com medidas de incentivo ao aumento da produtividade das firmas. Assim, ressalta-se a importância das medidas de apoio aos ganhos de produtividade das firmas do Agreste/Leste pernambucano para com a redução das perdas de produto, renda e bem-estar social oriundos de uma restrição da oferta de água na área de estudo deste trabalho.

5 Considerações finais

O objetivo desta tese de Doutorado foi analisar o efeito de choques de disponibilidade hídrica provindos de possíveis políticas administrativas de restrição ou realocação no uso econômico da água nos municípios do Agreste/Leste pernambucano. Mais precisamente, foram considerados os municípios que compõem as bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca e Una no estado de Pernambuco. A economia da região foi modelada de acordo com um modelo de equilíbrio geral computável, de modo que a água foi considerada como um insumo de produção, o qual é utilizado sob diferentes perspectivas a depender do tipo de atividade econômica (agrícola ou não agrícola) desenvolvida. O modelo utilizado nesta pesquisa é composto por 58 setores econômicos, quatro tipos de família (a depender da situação censitária e condição de pobreza) e dois tipos de trabalho que são determinados de acordo com a qualificação do trabalhador. Além disso, o modelo foi estruturado para representar uma pequena economia local, na qual os agentes econômicos realizam transações comerciais com o resto do estado, do país e do mundo e pagam tributos a nível estadual e federal.

Após a construção do modelo foram considerados quatro diferentes cenários visando representar as diferentes medidas administrativas que poderiam ser tomadas sobre a disponibilidade hídrica na região de estudo. Os cenários simulam uma restrição da disponibilidade hídrica aplicada com a finalidade de minimizar as perdas de volume dos reservatórios da região, sob quatro diferentes perspectivas de intervenção dos tomadores de decisão.

Os resultados das simulações efetuadas no cenário 1, em que a restrição da disponibilidade hídrica ocorre sem que haja a utilização de um mecanismo adicional de gestão dos recursos hídricos, sugerem que uma restrição na disponibilidade de água gera perdas de produto, produção setorial, renda e bem-estar social. Os resultados obtidos ainda sugerem que em termos de produção setorial, as empresas mais afetadas com a restrição da disponibilidade hídrica são aquelas que compõem o setor de cultivo de cana-de-açúcar. Além disso, os resultados sugerem que a agricultura é mais prejudicado com a referida restrição do que a indústria e o setor de serviços, tendo a sua produção reduzida em aproximadamente 3,22%. O setor de serviços, por sua vez, é menos impactado com uma restrição global da disponibilidade hídrica, tendo a sua produção reduzida em aproximadamente 0,22% com o choque de disponibilidade do cenário 1.

Em relação à renda, os resultados das simulações do cenário 1 mostram que os pobres residentes nas áreas rurais têm a maior perda de poder aquisitivo dentre

as quatro famílias representativas consideradas, passando por uma redução de aproximadamente 0,53% no seu poder aquisitivo. No que diz respeito às variações no bem-estar social, os resultados obtidos no cenário 1 sugerem que os não pobres do meio urbano são mais prejudicados com o choque de disponibilidade hídrica implementado, enquanto os não pobres residentes no meio rural têm as menores perdas de bem-estar advindos do choque de disponibilidade considerado no primeiro cenário.

Os resultados obtidos com o cenário 2 sugerem que as perdas de produto, renda e bem-estar decorrentes da restrição da disponibilidade hídrica seriam intensificadas caso os agentes reguladores decidissem manter contante a disponibilidade de água para o setor industrial em detrimento do montante de recursos hídricos destinado à agricultura e ao setor de serviços. A título de esclarecimento, os resultados mostraram que esta medida acarretaria em uma redução de aproximadamente 0,53% no PIB, da área de estudo em uma comparação com o cenário em que a restrição hídrica ocorre sem que haja nenhuma intervenção dos agentes reguladores. Além disso, esta mesma comparação permitiu verificar que a manutenção da disponibilidade de água para a indústria simulada no cenário 2 gera uma queda de 10,77%, 4,90 e 0,073% na produção das firmas da agricultura, indústria e do setor de serviços, respectivamente.

Verificou-se também que a intervenção simulada no cenário 2 é potencialmente responsável por agravamentos generalizados na perda de renda e bem-estar social, prejudicando de maneira mais intensa as famílias pobres residentes nas áreas rurais. Portanto, estes resultados sugerem que, em um período de restrição da disponibilidade de recursos hídricos é mais vantajoso que os agentes reguladores não intervenham na disponibilidade hídrica da área de estudo caso esta possível intervenção seja pautada na manutenção da disponibilidade de água da indústria em detrimento da disponibilidade hídrica da agricultura e do setor de serviços.

Também foi elaborado um cenário em que foi simulado uma realocação da disponibilidade hídrica da indústria e do setor de serviços para beneficiar a agricultura em um período de restrição da disponibilidade global de água. Os resultados sugerem que a implantação deste mecanismo de gestão dos recursos hídricos reduz as perdas de produção da agricultura decorrentes da restrição da disponibilidade de água a um patamar próximo de zero. Os resultados também sugerem que a indústria é o macro-setor mais prejudicado com a realocação simulada no referido cenário, tendo a produção setorial das firmas representativas deste setor reduzido em 4,99% em uma comparação com o cenário em que não há a realocação. Além disso, os resultados apontam para o fato de que os possíveis ganhos de renda e consumo provindos das variações positivas da produção agrícola não são suficientes para cobrir as perdas de renda e bem-estar das famílias decorrentes da variação negativa da produção da indústria e do setor de serviços que ocorre em decorrência de uma realocação da

disponibilidade hídrica, com a finalidade de beneficiar a agricultura em um cenário de restrição do uso da água.

A partir de uma simulação de um choque de produtividade das firmas representativas da área de estudo, foi obtido a partir dos resultados que as perdas de produto, renda e bem-estar social decorrentes da implantação de um mecanismo de gestão dos recursos hídricos baseado na restrição global da disponibilidade de água podem ser reduzidos caso haja um ganho de produtividade por parte das firmas. De uma maneira geral, os resultados encontrados sugerem que estas perdas de produto, renda e bem-estar social serão reduzidos a um patamar próximo de zero caso as firmas elevem a sua produtividade em aproximadamente 0,6%.

Por fim, os resultados sugerem que a implantação de um mecanismo de gestão dos recursos hídricos baseado na restrição global da disponibilidade hídrica no Agreste/Leste pernambucano pode gerar perdas significativas de produção na agricultura, indústria e no setor de serviços. Além disso, concluiu-se que esta medida também é potencialmente responsável por reduzir a renda e o bem-estar social da economia modelada. Os efeitos desta medida, contudo, podem variar a depender das medidas auxiliares de gestão implementadas pelos tomadores de decisão. Caso os gestores decidam manter constante a disponibilidade hídrica dos setores mais sensíveis à escassez de água, esta medida implicaria em ganhos de produto, renda e bem-estar social. Caso haja uma realocação intersetorial de água, então esta medida provavelmente induzirá a um *trade-off* na produção setorial, isto é, haverá um ganho de produção para com as firmas beneficiadas em detrimento da produção das firmas punidas com a restrição de disponibilidade de água. Finalmente, os resultados sugerem que quando as medidas de gestão da disponibilidade hídrica são fundamentadas na restrição do uso econômico dos recursos hídricos, estas medidas terão melhores implicações em termos de produto, renda e bem-estar social quando aplicadas em conjunto com medidas que incentivem o aumento da produtividade das firmas.

Em razão destas conclusões, é possível afirmar que os resultados aqui demonstrados podem fundamentar futuras medidas de gestão do uso da água no Agreste/Leste pernambucano e/ou regiões vizinhas, de modo que, a partir do MEGC construído neste trabalho, os tomadores de decisão podem obter possíveis respostas dos indicadores socioeconômicos em razão das alterações na disponibilidade hídrica. Esta resposta possibilitaria a elaboração de um planejamento e implantação de medidas de gestão de uso da água com impactos dentro do nível esperado sobre os indicadores socioeconômicos da área de interesse.

É importante destacar alguns detalhes que limitam os resultados apresentados nesta pesquisa. Primeiro, a indisponibilidade de dados com delimitação geográfica voltada para o nível de bacias hidrográficas impedem a criação de uma MCS que

represente fielmente os fluxos contábeis da área territorial que forma as bacias hidrográficas aqui estudadas. Segundo, a indisponibilidade de informações atuais impedem a construção de uma MCS e de um MEGC com parâmetros atualizados. Terceiro, a heterogeneidade temporal dos dados utilizados para a construção da MCS fazem com que alguns parâmetros utilizados no MEGC sejam aproximações ou estimativas dos valores reais.

Apesar das limitações citadas, espera-se que as conclusões tomadas a partir dos resultados explanados neste trabalho possam atuar na melhoria das tomadas de decisão acerca da gestão de recursos hídricos no Agreste/Leste pernambucano. Além disso, espera-se que estas conclusões possam auxiliar na construção de mecanismo eficientes de gestão dos recursos hídricos na região que se refere este trabalho.

É importante ressaltar que algumas melhorias podem ser feitas em termos metodológicos, as quais podem ser tomadas como sugestões para eventuais trabalhos futuros que busquem a continuidade desta pesquisa. Estas melhorias consistem em atualizar os dados utilizados no modelo para um período mais recente, considerar uma especificação dinâmica para o MEGC e utilizar uma abordagem inter regional para o MEGC, o que permitiria uma maior robustez na obtenção dos resultados e forneceria um conjunto de informações mais amplo para com a tomada de decisão acerca da gestão de recursos hídricos no Agreste/Leste pernambucano.

Referências

- AGRAWAL, A. Accountability in decentralization: A framework with south asian and west african cases. *The journal of developing areas*, JSTOR, v. 33, n. 4, p. 473–502, 1999.
- ALAYA, A. B.; SOUISSI, A.; TARHOUNI, J.; NCIB, K. Optimization of nebhana reservoir water allocation by stochastic dynamic programming. *Water Resources Management*, Springer, v. 17, n. 4, p. 259–272, 2003.
- ALEIXO, B.; PENA, J. L.; HELLER, L.; REZENDE, S. Infrastructure is a necessary but insufficient condition to eliminate inequalities in access to water: Research of a rural community intervention in northeast brazil. *Science of The Total Environment*, v. 652, p. 1445–1455, 2019. ISSN 0048-9697. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718340932>>.
- ALI, M.; HOQUE, M.; HASSAN, A.; KHAIR, A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity, and economic returns of wheat. *Agricultural water management*, Elsevier, v. 92, n. 3, p. 151–161, 2007.
- ALI, M. K.; KLEIN, K. Water use efficiency and productivity of the irrigation districts in southern alberta. *Water Resources Management*, Springer, v. 28, n. 10, p. 2751–2766, 2014.
- ALLANJ, A. Virtual water: a strategic resource-global solution to region deficits. *Ground Water*, v. 36, n. 4, p. 545–546, 1998.
- AMERY, H. A.; WILEY, K. B. Resolution of international water conflicts: from the us southwest to the euphrates river basin states. *International journal of global environmental issues*, Inderscience Publishers, v. 3, n. 2, p. 226–239, 2003.
- AULIN-AHMAVAARA, P. Dynamic input–output and time. *Economic Systems Research*, Taylor & Francis, v. 2, n. 4, p. 329–344, 1990.
- BEDRAN-MARTINS, A. M.; LEMOS, M. C. Politics of drought under bolsa família program in northeast brazil. *World Development Perspectives*, Elsevier, v. 7, p. 15–21, 2017.
- BERCK, P.; ROBINSON, S.; GOLDMAN, G. The use of computable general equilibrium models to assess water policies. In: *The economics and management of water and drainage in agriculture*. [S.l.]: Springer, 1991. p. 489–509.
- BERGMAN, L. A system of computable general equilibrium models for a small open economy. *Mathematical Modelling*, Elsevier, v. 3, n. 5, p. 421–435, 1982.
- BERGMAN, L. Cge modeling of environmental policy and resource management. *Handbook of environmental economics*, Elsevier, v. 3, p. 1273–1306, 2005.
- BERRITTELLA, M.; HOEKSTRA, A. Y.; REHDANZ, K.; ROSON, R.; TOL, R. S. The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis. *Water research*, Elsevier, v. 41, n. 8, p. 1799–1813, 2007.

- BERRITTELLA, M.; REHDANZ, K.; ROSON, R.; TOL, R. S. The economic impact of water taxes: a computable general equilibrium analysis with an international data set. *Water Policy*, IWA Publishing, v. 10, n. 3, p. 259–271, 2008.
- BIROL, E.; KOUNDOURI, P.; KOUNTOURIS, Y. Integrating wetland management into sustainable water resources allocation: the case of akrotiri wetland in cyprus. *Journal of Environmental Planning and Management*, Taylor & Francis, v. 51, n. 1, p. 37–53, 2008.
- BROAD, K.; PFAFF, A.; TADDEI, R.; SANKARASUBRAMANIAN, A.; LALL, U.; FILHO, F. d. A. de S. Climate, stream flow prediction and water management in northeast brazil: societal trends and forecast value. *Climatic Change*, Springer, v. 84, n. 2, p. 217–239, 2007.
- BRONSTERT, A.; JAEGER, A.; GUNTNER, A.; HAUSCHILD, M.; DÖLL, P.; KROL, M. Integrated modelling of water availability and water use in the semi-arid northeast of brazil. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Elsevier, v. 25, n. 3, p. 227–232, 2000.
- CAETANO, A. U.; JUSTO, W. R.; MELO, S. R. da S.; LIMA, A. G. de. Pobreza rural no estado de pernambuco: uma análise multidimensional com conjuntos fuzzy. *Revista Econômica do Nordeste*, v. 47, n. 1, p. 117–126, 2016.
- CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R. S. The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis. *Journal of Hydrology*, Elsevier, v. 384, n. 3-4, p. 292–305, 2010.
- CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R. S. Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis. *Agricultural Economics*, Wiley Online Library, v. 42, n. 3, p. 305–323, 2011.
- CAMPOS, J. N. B. Paradigms and public policies on drought in northeast brazil: a historical perspective. *Environmental management*, Springer, v. 55, n. 5, p. 1052–1063, 2015.
- CAPRARA, A.; LIMA, J. W. d. O.; MARINHO, A. C. P.; CALVASINA, P. G.; LANDIM, L. P.; SOMMERFELD, J. Irregular water supply, household usage and dengue: a bio-social study in the brazilian northeast. *Cadernos de saude publica*, SciELO Public Health, v. 25, p. S125–S136, 2009.
- CARRERA, L.; STANDARDI, G.; BOSELLO, F.; MYSIK, J. Assessing direct and indirect economic impacts of a flood event through the integration of spatial and computable general equilibrium modelling. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v. 63, p. 109–122, 2015.
- CARVALHO, G. R.; OLIVEIRA, C. d. O setor sucroalcooleiro em perspectiva. *Embrapa Territorial-Circular Técnica (INFOTECA-E)*, Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2006., 2006.
- CHARTZOULAKIS, K.; BERTAKI, M. Sustainable water management in agriculture under climate change. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, Elsevier, v. 4, p. 88–98, 2015.

- COSTA, A. C. R. d.; ROCHA, É. R. P. d. Panorama da cadeia produtiva têxtil e de confecções e a questão da inovação. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2009.
- CUNHA, A. P.; ZERI, M.; LEAL, K. D.; COSTA, L.; CUARTAS, L. A.; MARENGO, J. A.; TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M.; BARBOSA, A. A.; CUNNINGHAM, C. et al. Extreme drought events over brazil from 2011 to 2019. *Atmosphere*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 11, p. 642, 2019.
- DELAZERI, L. M. M.; CUNHA, D. A. D.; OLIVEIRA, L. R. Climate change and rural–urban migration in the brazilian northeast region. *GeoJournal*, Springer, p. 1–21, 2021.
- DEUERLEIN, J. W. Decomposition model of a general water supply network graph. *Journal of Hydraulic Engineering*, American Society of Civil Engineers, v. 134, n. 6, p. 822–832, 2008.
- DIETZENBACHER, E.; LINDEN, J. A. v. d.; STEENGE, A. E. The regional extraction method: Ec input–output comparisons. *Economic Systems Research*, Taylor & Francis, v. 5, n. 2, p. 185–206, 1993.
- DIXON, P. B.; JORGENSON, D. *Handbook of computable general equilibrium modeling*. [S.l.]: Newnes, 2012. v. 1.
- DIXON, P. B.; RIMMER, M. T.; WITTEWER, G. Buybacks to restore the southern murray-darling basin. In: *Economic Modeling of Water*. [S.l.]: Springer, 2012. p. 99–118.
- DUARTE, R.; SÁNCHEZ-CHÓLIZ, J.; BIELSA, J. Water use in the spanish economy: an input–output approach. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 43, n. 1, p. 71–85, 2002.
- EDWARDS, J.; YANG, B.; AL-HMOUD, R. B. Water availability and economic development: Signs of the invisible hand? an empirical look at the falkenmark index and macroeconomic development. *Natural Resources Journal*, JSTOR, p. 953–978, 2005.
- FERNÁNDEZ, M.; MESSINA, J. Skill premium, labor supply, and changes in the structure of wages in latin america. *Journal of Development Economics*, Elsevier, v. 135, p. 555–573, 2018.
- FERRARINI, A. d. S. F.; FILHO, J. B. de S. F.; CUADRA, S. V.; VICTORIA, D. de C.; HORRIDGE, M. The expansion of irrigated agriculture in brazil and potential regional limitations. In: *Economy-Wide Modeling of Water at Regional and Global Scales*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 139–157.
- GAMPER-RABINDRAN, S.; KHAN, S.; TIMMINS, C. The impact of piped water provision on infant mortality in brazil: A quantile panel data approach. *Journal of Development Economics*, Elsevier, v. 92, n. 2, p. 188–200, 2010.
- GARCÍA-LEÓN, D.; STANDARDI, G.; STACCIONE, A. An integrated approach for the estimation of agricultural drought costs. *Land Use Policy*, Elsevier, v. 100, p. 104923, 2021.
- GREEN, G. P.; HAMILTON, J. R. Water allocation, transfers and conservation: Links between policy and hydrology. *International Journal of Water Resources Development*, Taylor & Francis Group, v. 16, n. 2, p. 197–208, 2000.

- GUNKEL, G.; KOSMOL, J.; SOBRAL, M.; ROHN, H.; MONTENEGRO, S.; AURELIANO, J. Sugar cane industry as a source of water pollution—case study on the situation in ipojuca river, pernambuco, brazil. *Water, Air, and Soil Pollution*, Springer, v. 180, n. 1, p. 261–269, 2007.
- HEERDEN, J. H. van; ROOS, E. L.; ADAMS, P. D.; KILIMANI, N. Any rain on victoria lake is only a drop in the bucket: A cge analysis of the effects of water shortages on food security in uganda. In: *Economy-Wide Modeling of Water at Regional and Global Scales*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 109–138.
- HEESTERMAN, A. The instability of the dynamic input–output model. *Economic Systems Research*, Taylor & Francis, v. 2, n. 4, p. 351–356, 1990.
- HERTEL, T.; LIU, J. Implications of water scarcity for economic growth. In: *Economy-Wide Modeling of Water at Regional and Global Scales*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 11–35.
- HINIKER, M. Sustainable solutions to water conflicts in the jordan valley. *Cambridge Review of International Affairs*, Taylor & Francis, v. 12, n. 2, p. 255–273, 1999.
- HONG, C.; YANG, H.; HWANG, W.; LEE, J.-D. Validation of an r&d-based computable general equilibrium model. *Economic modelling*, Elsevier, v. 42, p. 454–463, 2014.
- HOSOE, N.; GASAWA, K.; HASHIMOTO, H. The standard cge model. In: *Textbook of Computable General Equilibrium Modelling*. [S.l.]: Springer, 2010. p. 87–121.
- HU, Z.; CHEN, Y.; YAO, L.; WEI, C.; LI, C. Optimal allocation of regional water resources: From a perspective of equity–efficiency tradeoff. *Resources, Conservation and Recycling*, Elsevier, v. 109, p. 102–113, 2016.
- HUNG, A. H. P. Virtual water trade a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. IHE Delft, 2002.
- HURD, B.; ROUHI-RAD, M. Estimating economic effects of changes in climate and water availability. *Climatic Change*, Springer, v. 117, n. 3, p. 575–584, 2013.
- IBGE. *Produção Agrícola Municipal - Área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes*. 2020. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>. Acessado em 21/01/2020.
- IBGE. *Bacias e Divisões Hidrográficas do Brasil* | 2021. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html?=&t=downloads>>. Acessado em 25/11/2021.
- IBGE. *PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios*. 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostra-de-domicilios.html?=&t=microdados>>. Acessado em 10/01/2022.
- IETS. *PNAD - Linhas de Pobreza - 1985-2014*. 2021. Disponível em: <<https://www.iets.org.br/spip.php?article406>>. Acessado em 10/07/2021.

- JONES, R. W. Tariffs and trade in general equilibrium: comment. *The American Economic Review*, JSTOR, v. 59, n. 3, p. 418–424, 1969.
- JUNG, D.; CHOI, Y. H.; KIM, J. H. Optimal node grouping for water distribution system demand estimation. *Water*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 8, n. 4, p. 160, 2016.
- KADU, M. S.; GUPTA, R.; BHAVE, P. R. Optimal design of water networks using a modified genetic algorithm with reduction in search space. *Journal of Water Resources Planning and Management*, American Society of Civil Engineers, v. 134, n. 2, p. 147–160, 2008.
- KARIMI, A.; ARDAKANIAN, R. Development of a dynamic long-term water allocation model for agriculture and industry water demands. *Water resources management*, Springer, v. 24, n. 9, p. 1717–1746, 2010.
- KELMAN, J.; KELMAN, R. Water allocation for economic production in a semi-arid region. *International Journal of Water Resources Development*, Taylor & Francis, v. 18, n. 3, p. 391–407, 2002.
- KNAPP, K.; BAERENKLAU, K. A. Ground water quantity and quality management: agricultural production and aquifer salinization over long time scales. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, JSTOR, p. 616–641, 2006.
- KUCUKMEHMETOGLU, M.; GULDMANN, J.-M. International water resources allocation and conflicts: the case of the euphrates and tigris. *Environment and Planning A*, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 36, n. 5, p. 783–801, 2004.
- LANNA, A. E. A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso. *estudos avançados*, SciELO Brasil, v. 22, p. 113–130, 2008.
- LANNIER, A. L.; PORCHER, S. Efficiency in the public and private french water utilities: prospects for benchmarking. *Applied Economics*, Taylor & Francis, v. 46, n. 5, p. 556–572, 2014.
- LARSON, A. M. Natural resources and decentralization in nicaragua: Are local governments up to the job? *World Development*, v. 30, n. 1, p. 17–31, 2002. ISSN 0305-750X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X01000985>>.
- LEMOES, M. C.; de Oliveira, J. L. F. Can water reform survive politics? institutional change and river basin management in ceará, northeast brazil. *World Development*, v. 32, n. 12, p. 2121–2137, 2004. ISSN 0305-750X. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X04001445>>.
- LENZEN, M.; FORAN, B. An input–output analysis of australian water usage. *Water Policy*, Elsevier, v. 3, n. 4, p. 321–340, 2001.
- LIU, J.; HERTEL, T.; TAHERIPOUR, F. Analyzing future water scarcity in computable general equilibrium models. *Water Economics and Policy*, World Scientific, v. 2, n. 04, p. 1650006, 2016.

- LIU, Y.; HU, Y.; SU, M.; MENG, F.; DANG, Z.; LU, G. Multiregional input-output analysis for energy-water nexus: a case study of pearl river delta urban agglomeration. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, v. 262, p. 121255, 2020.
- LLOP, M. Water reallocation in the input-output model. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 86, p. 21–27, 2013.
- LOFGREN, H.; HARRIS, R.; ROBINSON, S. *A Standard Computable General Equilibrium Model (CGE) in GAMS. Microcomputers in Policy Research 5*, IFPRI, Washington. 2002.
- MANACORDA, M.; SÁNCHEZ-PÁRAMO, C.; SCHADY, N. Changes in returns to education in latin america: The role of demand and supply of skills. *ILR Review*, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 63, n. 2, p. 307–326, 2010.
- MARSTON, L. T.; LAMSAL, G.; ANCONA, Z. H.; CALDWELL, P.; RICHTER, B. D.; RUDELL, B. L.; RUSHFORTH, R. R.; DAVIS, K. F. Reducing water scarcity by improving water productivity in the united states. *Environmental Research Letters*, IOP Publishing, v. 15, n. 9, p. 094033, 2020.
- MORAES, M. M. G. A. D.; SILVA, G. N. S. D.; CUNHA, M. P. D.; DIAS, N. B. M.; CARDOSO, T. F.; GUILHOTO, J. J. M.; CANDIDO, L. A.; SANTOS, R. R. S. Integration of a network-based and an economy-wide water model to support decision making on water resources planning and management in northeastern brazil. *Frontiers in Water*, v. 3, 2021.
- MUBAKO, S.; LAHIRI, S.; LANT, C. Input-output analysis of virtual water transfers: Case study of california and illinois. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 93, p. 230–238, 2013.
- NARDO, A. D.; GIUDICIANNI, C.; GRECO, R.; HERRERA, M.; SANTONASTASO, G. F. Applications of graph spectral techniques to water distribution network management. *Water*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 10, n. 1, p. 45, 2018.
- NICKLOW, J. W. Discrete-time optimal control for water resources engineering and management. *Water International*, Taylor & Francis, v. 25, n. 1, p. 89–95, 2000.
- OHISSON, L. Water conflicts and social resource scarcity. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere*, Elsevier, v. 25, n. 3, p. 213–220, 2000.
- OWEN, A.; SCOTT, K.; BARRETT, J. Identifying critical supply chains and final products: An input-output approach to exploring the energy-water-food nexus. *Applied Energy*, Elsevier, v. 210, p. 632–642, 2018.
- PAHL-WOSTL, C.; TÀBARA, D.; BOUWEN, R.; CRAPS, M.; DEWULF, A.; MOSTERT, E.; RIDDER, D.; TAILLIEU, T. The importance of social learning and culture for sustainable water management. *Ecological economics*, Elsevier, v. 64, n. 3, p. 484–495, 2008.
- PINHEIRO, R.; IRMÃO, J. F. A presença do capital social nas comunidades atendidas pelos projetos de combate à pobreza rural (pcpr) em pernambuco. *Organizações & Sociedade*, SciELO Brasil, v. 11, p. 115–127, 2004.

QIN, C.; JIA, Y.; SU, Z.; BRESSERS, H. T.; WANG, H. The economic impact of water tax charges in china: a static computable general equilibrium analysis. *Water international*, Taylor & Francis, v. 37, n. 3, p. 279–292, 2012.

RAA, T. t. Dynamic input-output analysis with distributed activities. *The Review of Economics and Statistics*, JSTOR, p. 300–310, 1986.

RIBOT, J. C. Democratic decentralization of natural resources. In: _____. *Beyond Structural Adjustment The Institutional Context of African Development*. New York: Palgrave Macmillan US, 2003. p. 159–182. ISBN 978-1-4039-8128-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1057/9781403981288_6>.

ROBINSON, S.; YÚNEZ-NAUDE, A.; HINOJOSA-OJEDA, R.; LEWIS, J. D.; DEVARAJAN, S. From stylized to applied models:: Building multisector cge models for policy analysis. *The North American Journal of Economics and Finance*, Elsevier, v. 10, n. 1, p. 5–38, 1999.

ROCHA, C. M. R. de S.; SILVA, V. d. P. R. da; SILVA, P. F. da; CAMPOS, J. H. B. da C. Análise do consumo de água e produtos químicos em indústrias têxteis no agreste pernambucano. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, v. 12, n. 1, p. 581–594, 2021.

ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the brazilian semiarid. *Journal of Development Economics*, Elsevier, v. 112, p. 72–91, 2015.

RODRIGUES, G. C.; PEREIRA, L. S. Assessing economic impacts of deficit irrigation as related to water productivity and water costs. *Biosystems engineering*, Elsevier, v. 103, n. 4, p. 536–551, 2009.

ROSE, A.; LIAO, S.-Y. Modeling regional economic resilience to disasters: A computable general equilibrium analysis of water service disruptions. *Journal of Regional Science*, Wiley Online Library, v. 45, n. 1, p. 75–112, 2005.

ROSON, R. Beyond water stress: Structural adjustment and macroeconomic consequences of the emerging water scarcity. In: *Economy-Wide Modeling of Water at Regional and Global Scales*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 67–85.

ROSON, R.; DAMANIA, R. *Simulating the Macroeconomic Impact of Future Water Scarcity: an Assessment of Alternative Scenarios*. [S.l.], 2016. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/p/bcu/iefewp/iefewp84.html>>.

RUSS, J. Water runoff and economic activity: The impact of water supply shocks on growth. *Journal of Environmental Economics and Management*, Elsevier, v. 101, p. 102322, 2020.

SANTOS, R. R. S. Acoplamento de modelo de alocação de água baseado em rede à modelagem de insumo-produto: uma proposta metodológica e aplicação em bacias hidrográficas interligadas do agreste pernambucano. Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

SEFTON, J. A.; WEALE, M. R. The concept of income in a general equilibrium. *The Review of Economic Studies*, Wiley-Blackwell, v. 73, n. 1, p. 219–249, 2006.

- SEUNG, C. K.; HARRIS, T. R.; ENGLIN, J. E.; NETUSIL, N. R. Impacts of water reallocation: A combined computable general equilibrium and recreation demand model approach. *The Annals of Regional Science*, Springer, v. 34, n. 4, p. 473–487, 2000.
- SHANGGUAN, Z.; SHAO, M.; HORTON, R.; LEI, T.; QIN, L.; MA, J. A model for regional optimal allocation of irrigation water resources under deficit irrigation and its applications. *Agricultural Water Management*, Elsevier, v. 52, n. 2, p. 139–154, 2002.
- SILVA, G. N. S. d. Apoio à gestão sustentável de recursos hídricos através de um modelo hidro-econômico desenvolvido em diferentes cenários de uso do solo e clima: o caso do sub-médio do são francisco. Universidade Federal de Pernambuco, 2017.
- SILVA, W. K. de M.; FREITAS, G. P. de; JUNIOR, L. M. C.; PINTO, P. A. L. de A.; ABRAHÃO, R. Effects of climate change on sugarcane production in the state of paraíba (brazil): a panel data approach (1990–2015). *Climatic Change*, Springer, v. 154, n. 1, p. 195–209, 2019.
- SNEDDON, C. Water conflicts and river basins: The contradictions of comanagement and scale in northeast thailand. *Society & Natural Resources*, Taylor & Francis, v. 15, n. 8, p. 725–741, 2002.
- SOPHOCLEOUS, M. Global and regional water availability and demand: prospects for the future. *Natural Resources Research*, Springer, v. 13, n. 2, p. 61–75, 2004.
- TELLES, D. D. *Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão*. [S.l.]: Editora Blucher, 2012.
- VEETIL, P. C.; SPEELMAN, S.; HUYLENBROECK, G. V. Estimating the impact of water pricing on water use efficiency in semi-arid cropping system: An application of probabilistically constrained nonparametric efficiency analysis. *Water Resources Management*, Springer, v. 27, n. 1, p. 55–73, 2013.
- VELÁZQUEZ, E. An input–output model of water consumption: analysing intersectoral water relationships in andalusia. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 56, n. 2, p. 226–240, 2006.
- VIANA, M. A.; LIRA, E. B. de S.; COELHO, C. d. P. G.; BEZERRA, A. P. X. de G.; LORENA, E. M. G.; HOLANDA, R. M. de. Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no agreste pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, p. 061–068, 2018.
- WANG, Z.; HUANG, K.; YANG, S.; YU, Y. An input-output approach to evaluate the water footprint and virtual water trade of beijing, china. *Journal of Cleaner Production*, Elsevier, v. 42, p. 172–179, 2013.
- WHEATER, H.; EVANS, E. Land use, water management and future flood risk. *Land use policy*, Elsevier, v. 26, p. S251–S264, 2009.
- WITTWER, G. Term-h2o modeling of droughts in australia and california. In: *Economy-Wide Modeling of Water at Regional and Global Scales*. [S.l.]: Springer, 2019. p. 87–107.
- WITTWER, G.; GRIFFITH, M. The economic consequences of a prolonged drought in the southern murray-darling basin. In: *Economic Modeling of Water*. [S.l.]: Springer, 2012. p. 119–141.

YAZDANI, A.; OTOO, R. A.; JEFFREY, P. Resilience enhancing expansion strategies for water distribution systems: A network theory approach. *Environmental Modelling & Software*, Elsevier, v. 26, n. 12, p. 1574–1582, 2011.

ZAMANIAN, S.; HUR, J.; SHAFIEEZADEH, A. Significant variables for leakage and collapse of buried concrete sewer pipes: A global sensitivity analysis via bayesian additive regression trees and sobol'indices. *Structure and infrastructure engineering*, Taylor & Francis, v. 17, n. 5, p. 676–688, 2021.

ZHANG, C.; ANADON, L. D. A multi-regional input–output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in china. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 100, p. 159–172, 2014.

ZHANG, Y.; LU, Y.; ZHOU, Q.; WU, F. Optimal water allocation scheme based on trade-offs between economic and ecological water demands in the heihe river basin of northwest china. *Science of The Total Environment*, Elsevier, v. 703, p. 134958, 2020.

6 APÊNDICES

Tabela 2 – Setores da matriz de contabilidade social.

Número	Setor
S1	Cultivo de milho
S2	Cultivo de cana-de-açúcar
S3	Outros da fruticultura
S4	Cultivo de algodão herbáceo e de outras fibras de lavoura temporária Cultivo de plantas de lavoura não especificadas anteriormente
S5	Pecuária
S6	Produção florestal
S7	Pesca e Aquicultura
S8	Abate de animais e pescado
S9	Extração de minerais, e Extração de petróleo e gás natural
S10	Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado
S11	Laticínios e Outros produtos alimentares
S12	Fabricação e refino de açúcar
S13	Fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais
S14	Fabricação de alimentos para animais
S15	Beneficiamento de produtos vegetais
S16	Fabricação de bebidas
S17	Fabricação de produtos têxteis
S18	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios
S19	Fabricação de calçados e de artefatos de couro
S20	Fabricação de produtos da madeira
S21	Fabricação de celulose, fabricação de papel e artefatos de papel
S22	Impressão e reprodução de gravações
S23	Refino de petróleo e coquerias
S24	Fabricação de álcool e biocombustíveis
S25	Fabricação de produtos químicos, produtos petroquímicos básicos, resinas e elastômeros
S26	Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e de produtos e preparados químicos diversos
S27	Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal

S28	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos
S29	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico
S30	Fabricação de vidro e de produtos do vidro, fabricação de cimento e outros produtos de minerais não-metálicos
S31	Produção de produtos e derivados do ferro, metal e outros da metalurgia e siderurgia
S32	Fabricação de produtos eletrônicos, equipamentos de comunicação e equipamentos de informática e periféricos
S33	Fabricação de equip. de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos
S34	Fabricação de eletrodomésticos
S35	Fabricação de outras máquinas e equipamentos elétricos
S36	Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos mecânicos
S37	Fabricação de automóveis, camionetas, utilitários e caminhões e ônibus e Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores
S38	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores
S39	Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas
S40	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos
S41	Eletricidade, gás e outras utilidades
S42	Água, esgoto e resíduos
S43	Construção
S44	Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas
S45	Comércio atacadista e varejista e outras atividades de comércio
S46	Transporte
S47	Armazenamento e atividades auxiliares dos transportes e correios
S48	Alojamento
S49	Alimentação
S50	Edição e edição integrada à impressão
S51	Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem, Telecomunicações e Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação
S52	Intermediação financeira, seguros e previdência complementar
S53	Outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares
S54	Atividades de vigilância, segurança, investigação e segurança pública, Defesa e Outros da administração pública e seguridade social
S55	Educação

S56	Saúde
S57	Atividades artísticas, criativas e de espetáculos Organizações associativas e outros serviços pessoais Serviços domésticos
S58	Outros produtos e atividades

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 – Municípios da área de estudo.

Código de identificação	Nome do município
2600302	Agrestina
2600401	Água Preta
2600807	Altinho
2600906	Amaraji
2601201	Arcoverde
2601300	Barra de Guabiraba
2601409	Barreiros
2601508	Belém de Maria
2601706	Belo Jardim
2601904	Bezerras
2602308	Bonito
2602605	Brejo da Madre de Deus
2603108	Cachoeirinha
2603207	Caetés
2603306	Calçado
2603454	Camaragibe
2603504	Camocim de São Félix
2603702	Canhotinho
2603801	Capoeiras
2604007	Carpina
2604106	Caruaru
2604155	Casinhas
2604205	Catende
2604403	Chã de Alegria
2604502	Chã Grande
2604809	Cortês
2604908	Cumarú
2605004	Cupira
2605202	Escada
2605400	Feira Nova
2605806	Frei Miguelinho
2605905	Gameleira
2606101	Glória do Goitá
2606408	Gravatá
2606705	Ibirajuba

2607208	Ipojuca
2607950	Jaqueira
2608008	Jataúba
2608206	Joaquim Nabuco
2608255	Jucati
2608305	Jupi
2608453	Lagoa do Carro
2608503	Lagoa de Itaenga
2608701	Lagoa dos Gatos
2608800	Lajedo
2608909	Limoeiro
2609204	Maraial
2609402	Moreno
2610004	Palmares
2610202	Panelas
2610509	Passira
2610608	Paudalho
2610905	Pesqueira
2611200	Poção
2611309	Pombos
2611408	Primavera
2611507	Quipapá
2611606	Recife
2611705	Riacho das Almas
2611804	Ribeirão
2611903	Rio Formoso
2612000	Sairé
2612109	Salgadinho
2612406	Sanharó
2612505	Santa Cruz do Capibaribe
2612703	Santa Maria do Cambucá
2612901	São Benedito do Sul
2613008	São Bento do Una
2613107	São Caitano
2613305	São Joaquim do Monte
2613404	São José da Coroa Grande
2613701	São Lourenço da Mata

2614204	Sirinhaém
2614501	Surubim
2614709	Tacaimbó
2614857	Tamandaré
2615003	Taquaritinga do Norte
2615409	Toritama
2615508	Tracunhaém
2616001	Venturosa
2616183	Vertente do Lério
2616209	Vertentes
2616407	Vitória de Santo Antão
2616506	Xexéu

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 4 – Descrição das variáveis que compõem o modelo.

Variável	Descrição
K_i	Capital utilizado na produção do i-ésimo setor (exógena)
VA_i	Valor adicionado ao i-ésimo setor
LD_i	Trabalho utilizado na produção do i-ésimo setor
CI_i	Consumo intermediário do i-ésimo setor
X_i	Produção do i-ésimo setor
LSK_i	Demanda por trabalho qualificado
$LLSK_i$	Demanda por trabalho não qualificado
ω_s	Remuneração média setorial do trabalho qualificado
ω_{LS}	Remuneração média setorial do trabalho não qualificado
ω_i	Remuneração paga pelo i-ésimo setor
X_j	Consumo dos bens produzidos pelo j-ésimo setor
CIJ_{ij}	Consumo intermediário do i-ésimo bem produzido pelo j-ésimo setor
R_i	Remuneração do capital do i-ésimo setor
YF	Rendimento das empresas
TRF_H	Transferências governamentais para as famílias (exógena)
TXS_i	Tributos sobre o consume de produtos nacionais
TXM_i	Tributos sobre o consume de produto importados
Y_H	Renda das famílias
Y_G	Renda do governo
PXM_i	Preço médio das importações do i-ésimo setor
XM_i	Valor das importações do i-ésimo setor
P_i	Preço do produto produzido pelo i-ésimo setor
S_H	Poupança da h-ésima família
C_{Hi}	Demanda da h-ésima família pelo produto do i-ésimo setor
GFT	Gastos do governo (exógena)
GF_i	Compras do governo ao i-ésimo setor
IT	Investimento total
INV_i	Demanda por bens de capital
PK	Preço do capital
SF	Poupança das firmas
SG	Poupança do governo
MD_i	Quantidade de bens importados do resto do país pelo i-ésimo setor
XDD_i	Quantidade de bens produzidos internamente e adquiridos pelo i-ésimo setor
QD_i	Quantidade do bem compósito do i-ésimo setor
QM_i	Substituição entre bem compósito local e importado do resto do mundo
PMD_i	Preço dos bens importados do resto do país pelo i-ésimo setor
PXD_i	Preço do bem compósito do i-ésimo setor

PQD_i	Preço do bem composto do i-ésimo setor
EX_i	Quantidade da produção exportada do i-ésimo setor
PE_i	Preço médio sectorial da produção exportada
ED_i	Produção destinada ao resto do país
EI_i	Produção destinada a venda no exterior
PED_i	Preço médio sectorial da Produção destinada ao resto do país
PWM_i	Preço médio sectorial da produção exportada para o resto do mundo
PWE_i	Preço médio sectorial dos produtos importados do resto do mundo
$SEXT$	Balança commercial em relação ao resto do mundo
$SRBR$	Saldo da Balança commercial em relação ao resto do Brasil
PC_i	Preço médio sectorial aplicado ao consumidor
PVA_i	Preço do valor adicionado do i-ésimo setor
PRB_i	Preço do produto do i-ésimo setor aplicado ao resto do Brasil
$LUSK$	Oferta total do trabalho não qualificado
LSK	Oferta total do trabalho qualificado
$WATERS$	Oferta total de água
$WATER_i$	Demanda setorial por água

Fonte: Elaborado pelo autor.

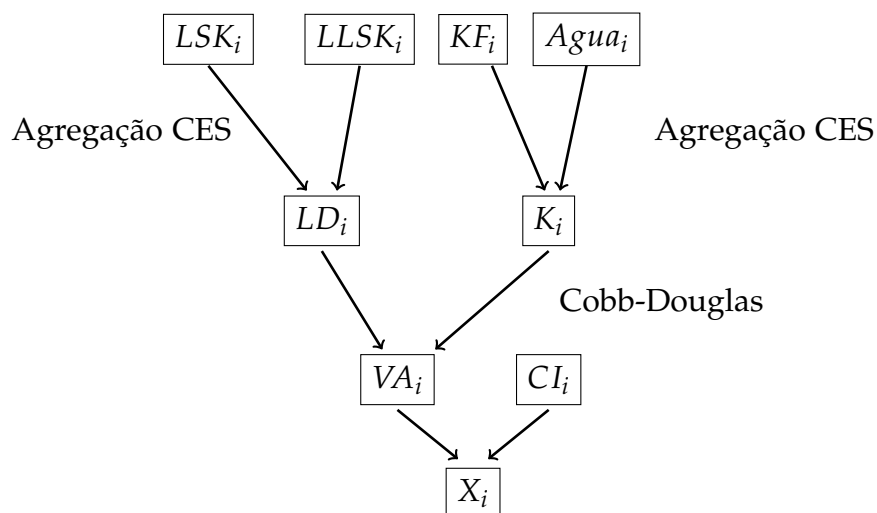
Tabela 5 – Descrição dos parâmetros que compõem o modelo.

Parâmetro	Descrição
α_i	Parâmetro de compartilhamento da função de produção do i-ésimo bem
A_i	Produtividade total dos fatores
b_i	Fator de produtividade aplicado na produção do i-ésimo bem
δ_i	Proporção do trabalho qualificado utilizado na produção do i-ésimo bem
ρL_i	Elasticidade de substituição do trabalho qualificado pelo trabalho não qualificado
σ_L	Elasticidade de substituição do salário do trabalho qualificado pelo salário do trabalho não qualificado
a_{ij}	Coeficiente técnico da Matriz Insumo-Produto
SLI_H	Proporção do trabalho qualificado na h-ésima família
$LSLI_H$	Proporção do trabalho não qualificado na h-ésima família
SHK_H	Proporção do capital das firmas pago as famílias
tk	Taxa de tributação sobre o capital
ty_H	Taxação da renda das famílias
txm_i	Taxação sobre importações do i-ésimo setor
tx_i	Taxa de tributação sobre a produção do i-ésimo setor
β_i^H	Proporção da renda das famílias destinada ao consume do bem produzido pelo i-ésimo setor
β_i^{GF}	Proporção dos gastos do governo realizados na compra do bem produzido pelo i-ésimo setor
β_i^I	Parcela do investimento total referente a demanda por investimento do i-ésimo setor
YGF	Renda do governo
TGE	Transferências governamentais para as empresas
A_i^D	Fator de produtividade da produção do bem composto do i-ésimo setor
σ_i^D	Elasticidade de substituição dos bens importados do resto do país pelos bens produzidos internamente
δ_i^D	Proporção dos bens importados do resto do país pelo i-ésimo setor
ρ_i^D	Parâmetro da função de substituição de vendas domésticas
A_i^M	Fator de produtividade do bem composto QM do i-ésimo setor
δ_i^M	Proporção dos bens importados do resto do mundo pelo i-ésimo setor
σ_i^M	Elasticidade de substituição entre bens importados e produzidos domesticamente
ρ_i^M	Parâmetro da função de substituição de importações
A_i^T	Fator de substituição das vendas
δ_i^T	Proporção da produção exportada do i-ésimo setor

σ_i^T	Elasticidade de substituição das exportações pelas vendas feitas internamente
ρ_i^T	Parâmetro share da função de transformação das exportações
δ_i^E	Proporção da Produção destinada ao resto do país
σ_i^E	Elasticidade de substituição entre a produção destinada ao resto do país e a produção destinada ao resto do mundo
ρ_i^E	Parâmetro share da função de transformação das exportações
ER	Taxa de Câmbio
tm_i	Taxa de tributação das importações

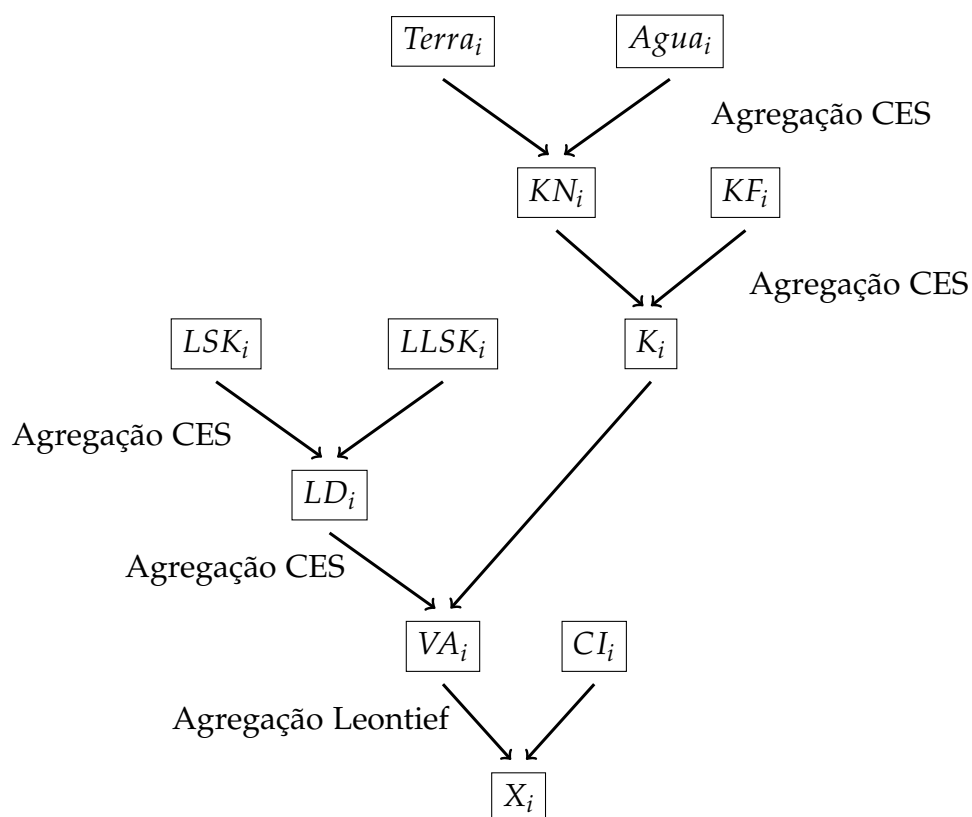
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 – Representação da estrutura do modelo para o bloco 1 (Tecnologia de produção e demanda por fatores) para setores não agrícolas.



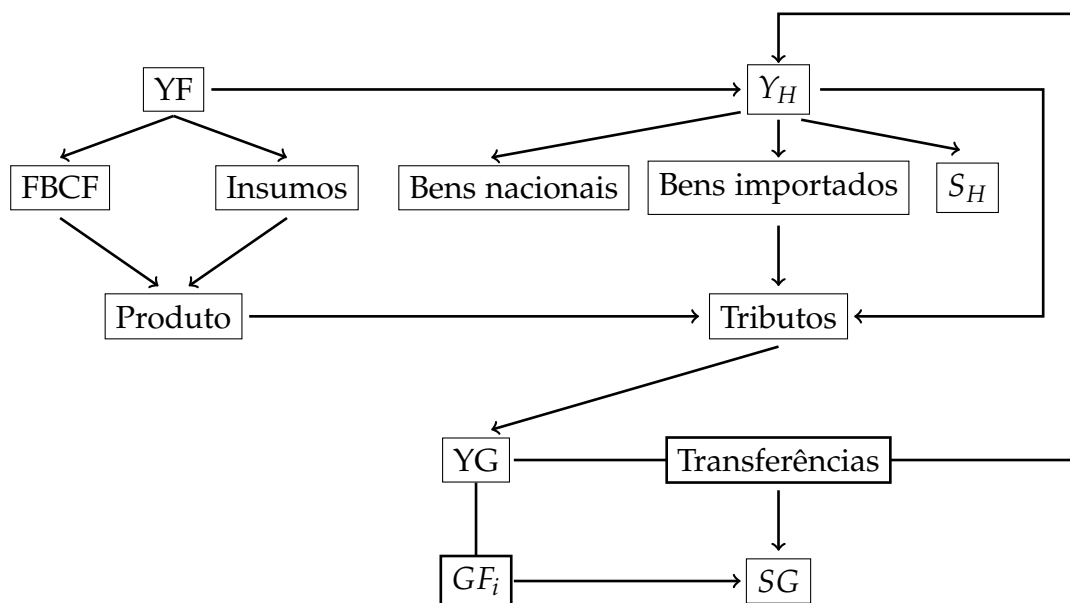
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 – Representação da estrutura do modelo para o bloco 1 (Tecnologia de produção e demanda por fatores) para setores agrícolas.



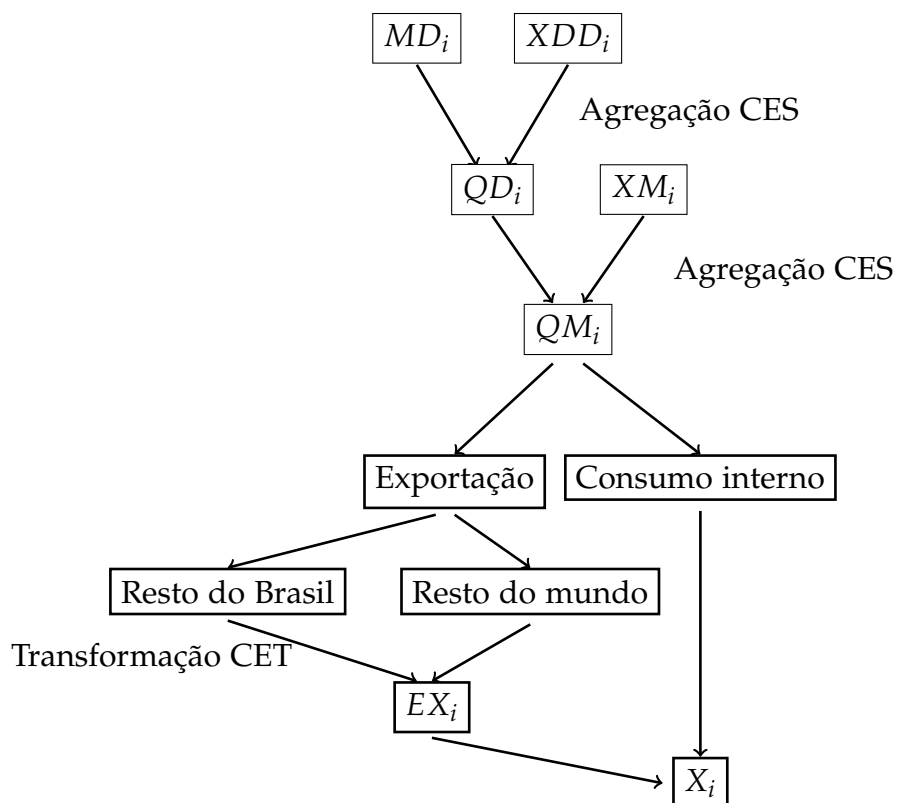
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21 – Representação da estrutura do modelo para os blocos 2 (Renda) e 3 (Demanda e poupança).



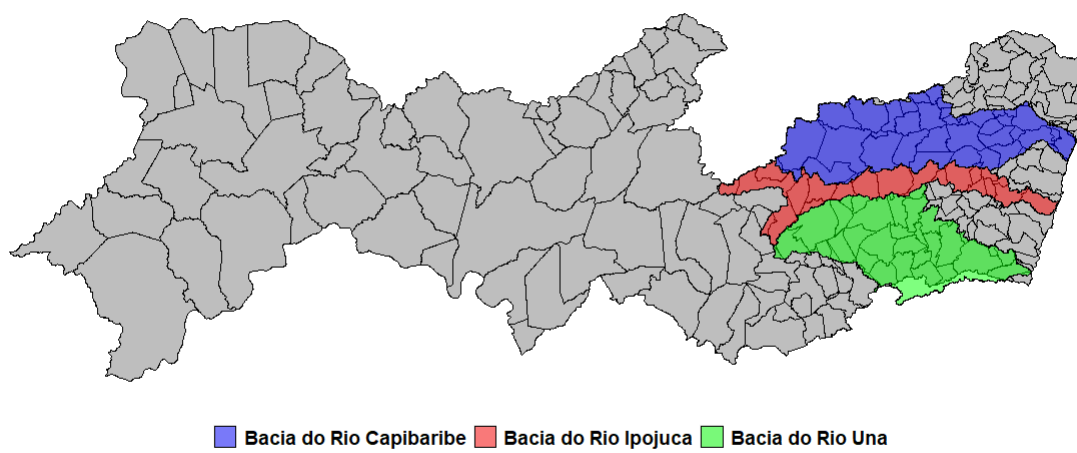
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 – Representação da estrutura do modelo para o bloco 4 (Comércio).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 – Localização geográfica das bacias hidrográficas estudadas.



Fonte: Elaborado pelo autor com base no IBGE (2021a).