



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ROGÉRIO BARBOSA SOARES

**CONTABILIDADE MACROECONÔMICA DOS RECURSOS HÍDRICOS: UMA
ABORDAGEM INSUMO-PRODUTO APLICADA À ECONOMIA DO ESTADO DO
CEARÁ, BRASIL**

FORTALEZA

2023

ROGÉRIO BARBOSA SOARES

CONTABILIDADE MACROECONÔMICA DOS RECURSOS HÍDRICOS: UMA
ABORDAGEM INSUMO-PRODUTO APLICADA À ECONOMIA DO ESTADO DO
CEARÁ, BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Samiria Maria Oliveira da Silva.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S656c Soares, Rogério Barbosa.

Contabilidade Macroeconômica dos Recursos Hídricos: Uma Abordagem Insumo-Produto Aplicada à Economia do Estado do Ceará, BRASIL / Rogério Barbosa Soares. – 2023.
185 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2023.
Orientação: Profa. Dra. Samiria Maria Oliveira da Silva.

1. Planejamento dos Recursos Hídricos. 2. Economia Regional. 3. Demanda Hídrica. 4. Fluxos de Água Virtual. I. Título.

CDD 627

ROGÉRIO BARBOSA SOARES

CONTABILIDADE MACROECONÔMICA DOS RECURSOS HÍDRICOS: UMA
ABORDAGEM INSUMO-PRODUTO APLICADA À ECONOMIA DO ESTADO DO
CEARÁ, BRASIL

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em ____ / ____ / ____

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dr.^a Samiria Maria Oliveira da Silva. (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco de Assis Souza Filho
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cristiano da Costa da Silva
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Dr. Nicolino Trompiere Neto
Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus pelo dom da vida e pelas oportunidades de desfrutá-la com pessoas tão maravilhosas que Ele colocou ao meu lado, as quais me deram força, coragem e sabedoria durante a minha caminhada.

Agradeço também aos meus filhos Eduardo Ferreira Soares, Samuel Ferreira Soares e Samilly Ferreira Soares, por sempre estarem ao meu lado me apoiando em todos os momentos, e por serem os filhos que sempre pedi a Deus. Aos meus pais Maria Fátima Barbosa Soares e Antônio Armando Cavalcante Soares e aos meus irmãos Alexandre Barbosa Soares, Luis Armando Barbosa Soares e Fernando Antônio Barbosa Soares. A minha mãe de criação Maria Sônia Vasconcelos, e aos meus sobrinhos Thiago Vasconcelos Soares e Pedro Henrique Vasconcelos, por todo o apoio, dedicação, incentivo e amor.

A minha orientadora Prof.^a Dr.^a Samiria Maria Oliveira, que dedicou grande parte de seu tempo, nos últimos 4 anos, a minha formação acadêmica e também a minha formação pessoal e profissional. Assim, deixo registrado meu sentimento de eterna gratidão, carinho e admiração por sua pessoa, a qual tenho agora como amiga de coração.

A todos os professores que contribuíram com a minha formação acadêmica, aqui representados pelo Prof. Francisco de Assis Souza Filho (Recursos Hídricos) e pela Prof.^a Dr.^a Marisete Dantas de Aquino (Saneamento Ambiental). E aos meus amigos de curso aqui representados pela Tereza Margarida Xavier de Melo Lopes, Nosliana Nobre Rabelo, Daniel Cid, Louise Caroline Peixoto Xavier, Taís Maria, Renata Locarno, Vicente, Bruno e João Vitor.

A todos os colegas e amigos do Grupo de Gerenciamento do Risco Climático e da Sustentabilidade Hídrica no desenvolvimento de projetos e trabalhos científicos que concretizamos juntos, e na participação no XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, que me proporcionaram momentos especiais de aprendizado no campo do ensino e da pesquisa.

Ao Cientista Chefe de Ciência de Dados Dr. José Soares de Andrade e aos pesquisadores Dr. Humberto de Andrade Carmona e Dr. Rilder de Sousa Pires, pela orientação e apoio técnico no desenvolvimento desta tese. E aos diretores e amigos do IPECE – Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará, Dr. João Mário Santos de França, Adriano Sarquis Bezerra de Menezes, Ricardo Antônio de Castro Pereira, Marília Rodrigues Firmiano, Witalo de Lima Paiva, Nicolino Trompiere Neto e Cleyber Nascimento de Medeiros, que investiram na minha formação pessoal e profissional.

Quero agradecer também aos membros da Banca Examinadora por se disporem em compartilhar seus conhecimentos em prol da melhoria deste trabalho de Tese.

“Não temas, porque eu sou contigo; não te assombres, porque eu sou teu Deus; eu te fortaleço, e te ajudo, e te sustento com a destra da minha justiça.” (Isaías 41:10)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo ampliar a discussão sobre o uso de princípios e modelos econômicos no planejamento e gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas. Para isso, elaborou-se quatro estudos, são eles: i. Estimativa do Consumo Direto e Indireto de Recursos Hídricos: Uma Análise Insumo-Produto; ii. Contabilidade Macroeconômica dos Recursos Hídricos: Uma Abordagem Insumo-Produto dos Encadeamentos e Impactos na Economia do Estado do Ceará, Brasil; iii. Análise Espacial da Demanda Hídrica dos Setores Econômicos do Estado do Ceará e iv. Avaliação dos Fluxos de Água Virtual entre os Setores Macroeconômicos do Ceará. No primeiro foi mapeado o consumo direto e indireto de água do estado do Ceará, de forma setorial e intersetorial, medindo os benefícios econômicos de seu uso por meio da construção da Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos (MIPRH) para o ano de 2013, considerando 32 setores e 58 produtos. Este identificou que o consumo direto de água pelos setores econômicos foi de 1,33 trilhões de m³, com a agropecuária respondendo por 62,08% (826.740.891m³), serviços respondendo por 30,50% (406.129.808m³) e a indústria por 7,42% (98.816.204m³). Estes geraram um retorno econômico para o uso da água de: R\$8,04/m³, R\$573,94/m³ e R\$249,89/m³, respectivamente. Quanto ao consumo indireto intersetorial de recursos hídricos, este foi de 193.471.666m³. O segundo estudo identificou os principais setores da estrutura econômica, considerando seus fluxos de água virtual, e estimou o impacto de cada setor, destacando características sistêmicas da demanda hídrica dos setores econômicos na economia regional com base na MIPRH do Ceará. Para tal, foram utilizados: os índices Rasmussen e Hirschman para as "ligações para frente e para trás"; multiplicadores gerais de produção, trabalho e renda; e a elasticidade do consumo de água para a demanda final de água. O referido estudo averiguou que: (a) o setor comercial é o mais relevante em termos de ligações para frente e para trás dos fluxos de água virtual, (b) o setor agrícola tem o maior consumo direto de água, e (c) o setor da administração pública tem o maior consumo intermediário de água. O terceiro estudo avaliou a dependência espacial do consumo total de água por meio da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), utilizando dos testes estatísticos de Autocorrelação Espacial: Índice de Moran Global (I) e o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), trabalhando com um modelo espacial univariado para identificar o grau de associação espacial do consumo total de água e com um modelo bivariado para identificar a associação espacial entre o consumo total de água e o Valor Adicionado Bruto de cada município do estado do Ceará. Com base na análise da estatística do Índice I-Moran Global,

verificou-se que há municípios que possuem uma autocorrelação espacial positiva. Na análise univariada pelos Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA), identificou-se a existência de *Clusters* de municípios com agregação Alto-Alto nas Regiões Hidrográficas do Baixo Jaguaribe, Curu, Litoral, Médio Jaguaribe e Bacias Metropolitanas. Já na análise bivariada, o padrão de Indicadores Locais Alto-Alto compreendeu municípios do Ceará localizados nas Regiões Hidrográficas do Acaraú, Banabuiú, Baixo Jaguaribe, Litoral, Médio Jaguaribe e Região das Bacias Metropolitanas. Já o quarto estudo, identificou e avaliou como os fluxos de água virtual estão ocorrendo por meio do comércio de bens e serviços entre os municípios e regiões hidrográficas do Ceará, com a aplicação de um algoritmo de redes complexas - Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas, para a identificação e avaliação dos fluxos de água virtual, combinado Teoria das Redes, análise estrutural da economia do estado do Ceará (MIPRH – Ceará) e modelos de econometria espacial. Os resultados obtidos, demonstram que:

- 1) A região hidrográfica das Bacias Metropolitana concentra 73,0% dos fluxos de saídas de água virtual e 72,3% dos fluxos de entrada, gerados por meio das transferências hídricas via transações comerciais intra e inter regional no Ceará;
- 2) as atividades econômicas que exportam um maior volume de fluxos de água virtual são: Pecuária, inclusive os serviços de apoio a pecuária; Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores; Produção florestal, pesca e aquicultura e Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca,
- 3) os municípios de Fortaleza (179.891.952 m³), Maracanaú (35.842.056 m³) e Aquiraz (25.397.696 m³), foram os que apresentaram o maior volume de saída de água virtual,
- 4) os modelos econométricos evidenciaram que variações positivas no nível de produção dos setores econômicos: agropecuária, indústria e serviços resultam em variações positivas no consumo econômico de água nos municípios do estado do Ceará.
- 5) O Modelo de Defasagem Espacial (MDE) indica que ao elevar o VAB da Agricultura em 10% o consumo total de água aumenta em 7,3%, e caso haja uma elevação de 10% no VAB da Indústria o modelo MDE prevê um incremento da ordem de 7,2% no consumo de água total. Por sua vez, uma elevação de 10% no VAB dos Serviços resulta em uma estimativa de elevação do consumo total de água da ordem de 1%.

Assim, com base nos estudos propostos, verificou-se que o uso de modelos de Contabilidade Macroeconômica Ambiental da Água pode apoiar o desenvolvimento de políticas públicas voltadas para o planejamento e gestão de recursos hídricos, abordando conexões entre os objetivos da política de crescimento econômico e a segurança hídrica regional, realizando a integração de informações relativas ao uso da água como um ativo ambiental com informações econômicas relativas a estrutura produtiva de cada setor macroeconômico.

Palavras-chave: planejamento dos recursos hídricos; economia regional; demanda hídrica; fluxos de água virtual.

ABSTRACT

This work aimed to broaden the discussion on the use of economic principles and models in the planning and management of water resources in semi-arid regions. For this, four studies were elaborated, they are i. Estimation of Direct and Indirect Consumption of Water Resources: An Input-Output Analysis; ii. Macroeconomic Accounting for Water Resources: An Input-Output Approach to Linkages and Impacts on the Economy of the State of Ceará, Brazil; iii. Spatial Analysis of the Water Demand of Economic Sectors in the State of Ceará and iv. Evaluation of Virtual Water Flows between Macroeconomic Sectors in Ceará. In the first one, the direct and indirect consumption of water in the state of Ceará was mapped, in a sectoral and intersectoral way, measuring the economic benefits of its use through the construction of the Input-Output Matrix of Water Resources (IOMWR) for the year 2013, considering 32 sectors and 58 products. It identified that direct consumption of water by economic sectors was 1.33 trillion m^3 , with agriculture accounting for 62.08% (826,740,891 m^3), and services accounting for 30.50% (406,129,808 m^3) and industry by 7.42% (98,816,204 m^3). These generated an economic return for the use of water of R\$8.04/ m^3 , R\$573.94/ m^3 and R\$249.89/ m^3 , respectively. As for the indirect intersectoral consumption of water resources, it was 193,471,666 m^3 . The second study identified the main sectors of the economic structure, considering their virtual water flows, and estimated the impact of each sector, highlighting systemic characteristics of the water demand of the economic sectors in the regional economy based on the IOMWR of Ceará. To this end, the following were used: Rasmussen and Hirschman indices for "forward and backward links"; general multipliers of production, work, and income; and the elasticity of water consumption to final water demand. The aforementioned study found that: (a) the commercial sector is the most relevant in terms of forward and backward linkages of virtual water flows, (b) the agricultural sector has the highest direct consumption of water, and (c) the public administration sector has the highest intermediate consumption of water. The third study evaluated the spatial dependence of total water consumption through Exploratory Spatial Data Analysis (ESDA), using the statistical tests of Spatial Autocorrelation: Global Moran Index (I) and the Local Indicators of Spatial Association (LISA), working with a univariate spatial model to identify the degree of spatial association of total water consumption and with a bivariate model to identify the spatial association between total water consumption and Gross Value Added for each municipality in the state of Ceará. Based on the statistical analysis of the I-Moran Global Index, it was found that there are municipalities that have a positive spatial autocorrelation. In the univariate analysis by the Local Indicators of Spatial Association (LISA),

it was identified the existence of clusters of municipalities with High-High aggregation in the Low Jaguaribe, Curu, Litoral, Middle Jaguaribe and Metropolitan Basins Hydrographic Regions. In the bivariate analysis, the pattern of High-High Local Indicators comprised municipalities in Ceará located in the Hydrographic Regions of Acaraú, Banabuiú, Baixo Jaguaribe, Litoral, Médio Jaguaribe, and Region of the Metropolitan Basins. The fourth study identified and evaluated how virtual water flows are occurring through the trade of goods and services between municipalities and hydrographic regions of Ceará, through an application of a complex network algorithm - The Input-Output Multiregional Analysis Model, for the identification and evaluation of virtual water flows, combined Network Theory, structural analysis of the economy of the state of Ceará (IOMWR – Ceará), and with spatial econometric models. The results obtained demonstrate that: 1) The hydrographic region of the Metropolitan Basins concentrates 73.0% of the outflows of virtual water and 72.3% of the inflows, generated through water transfers via intra and inter-regional commercial transactions In Ceará; 2) the economic activities that export a greater volume of virtual water flows are: Livestock, including livestock support services; Wholesale and retail trade, except motor vehicles; Forest production, fishing and aquaculture, and Slaughter and meat products, including dairy and fish products, 3) the municipalities of Fortaleza (179,891,952 m³), Maracanaú (35,842,056 m³) and Aquiraz (25,397,696 m³), were the ones that presented the highest volume of virtual water output, 4) the econometric models showed that positive variations in the production level of the economic sectors: agriculture, industry, and services result in positive variations in the economic consumption of water in the municipalities of the state of Ceará. 5) The Spatial Lag Model (MDE) indicates that when increasing the GVA of Agriculture by 10%, the total consumption of water increases by 7.3%, and if there is a 10% increase in the GVA of Industry, the MDE model predicts an increase of around 7.2% in total. In turn, a 10% increase in the GVA of Services results in an estimated increase in total water consumption of around 1%. Thus, based on the proposed studies, it was found that the use of Environmental Macroeconomic Water Accounting models can support the development of public policies aimed at the planning and management of water resources, addressing connections between the policy objectives of economic growth and regional water security, integrating information relating to the use of water as an environmental asset with economic information relating to the productive structure of each macroeconomic sector.

Keywords: water resources planning; regional economy; water demand; virtual water flows.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do estado do Ceará	39
Figura 2 – Metodologia da construção dos coeficientes técnicos e vetor de demanda hídrica das atividades econômicas do Ceará	43
Figura 3 – Coeficientes técnicos (R\$/m ³) do uso da Água (R\$/m ³) dos produtos do setor Agropecuário, Ceará – 2013	54
Figura 4 – Coeficiente técnico de Consumo de água (R\$/m ³) dos produtos do setor da Indústria, Ceará	55
Figura 5 – Coeficiente técnico de Consumo de água (R\$/m ³) dos produtos do setor de Serviços, Ceará – 2013	57
Figura 6 – Localização do Estado do Ceará	68
Figura 7 – Estratégia metodológica	69
Figura 8 – Metodologia da construção de coeficientes técnicos e vetor da demanda hídrica nas atividades econômicas do Ceará	71
Figura 9 – Índices de ligação de Rasmussen e Hirschman (Efeitos diretos, indiretos e induzidos) dos fluxos hídricos para frente e para trás, Ceará	82
Figura 10 – Mapa do estado do Ceará por regiões hidrográficas	99
Figura 11 – Estratégia metodológica	100
Figura 12 – Convenção de contiguidade tipo Queen (Rainha)	103
Figura 13 – Convenção de contiguidade tipo Rook (Torre)	103
Figura 14 – Diagrama de dispersão para o Consumo Total de Água (Y) dos municípios do Ceará	106
Figura 15 – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) da análise univariada do Consumo Total de Água (Y)	107
Figura 16 – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) da análise bivariada da relação entre o consumo total de água (Y) e o Valor Adicionado Bruto (m ³ /R\$)	111

Figura 17 – Estratégia metodológica: modelo de análise multirregional de entradas-saídas 119

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de recursos hídricos (m ³) dos produtos do setor Agropecuário, Ceará – 2013	49
Tabela 2 – Consumo de recursos hídricos (m ³) dos produtos que compõem o setor de Serviços, Ceará – 2013	50
Tabela 3 – Consumo de recursos hídricos (m ³) dos produtos do setor da Indústria, Ceará – 2013	51
Tabela 4 – Teste do Índice de Moran Global (I) para o Consumo Total de Água (Y) dos municípios do Ceará	105
Tabela 5 – Municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto para o Consumo Total de Água (Y)	108
Tabela 6 – Consumo de água (m ³) por setor econômico de acordo com as Regiões Hidrográficas do Ceará, 2013	109
Tabela 7 – Municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto para a relação entre o Consumo Total de Água e o Valor Adicionado Bruto	112
Tabela 8 – Níveis de consumo de água por tipo de atividade econômica dos municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto	113
Tabela 9 – Fluxos de entrada de água virtual do Ceará por município: volume (m ³) e participação (%), 2013	128
Tabela 10 – Fluxos de entrada de água virtual do Ceará por atividade econômica: volume (m ³) e participação (%), 2013	129
Tabela 11 – Principais atividades econômicas dentre os municípios com maior valor de fluxos de entrada de água virtual	129
Tabela 12 – Fluxos de saída de água virtual do Ceará por região: volume (m ³) e percentual (%), 2013	130
Tabela 13 – Principais atividades econômicas dentre os municípios com maior valor de fluxos de saída de água virtual	131

Tabela 14 – Principais atividades econômicas com maior valor de fluxos de saídas de água virtual por região hidrográfica, Ceará, 2013	132
Tabela 15 – Fluxos de saída de água virtual do Ceará por atividade econômica: volume (m ³) e participação (%), 2013	132
Tabela 16 – Principais atividades econômicas ligadas à atividade do Comércio por atacado e a varejo, fluxos de água virtual da cadeia de valor	133
Tabela 17 – Fluxo de Água Virtual* (hm ³) entre as Regiões Hidrográficas do Ceará, 2013	136
Tabela 18 – Determinantes do Consumo Total de Água gerado pelos Macros Setores Econômicos dos municípios do Ceará: MQO, MDE e MEE, Ceará – 2013 ..	137

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	– Levantamento bibliográfico de estudos que utilizaram uma abordagem macroeconômica aplicada aos recursos hídricos por meio do uso da matriz Insumo-Produto, 2002-2021	32
Quadro 2	– Levantamento bibliográfico utilizando as plataformas do Google Acadêmico, catálogo de teses e dissertações CAPES e Science Direct, abordando conjuntamente os temas: matriz Insumo-Produto, recursos hídricos e análise macroeconômica 2002-2021	33
Quadro 3	– Modelo insumo-produto com o insumo água	40
Quadro 4	– Modelo insumo-produto com a incorporação das demandas hídricas	70
Quadro 5	– Classificação dos setores quanto a elasticidade da demanda por recursos hídricos	77
Quadro 6	– População brasileira por situação em Classificação dos setores quanto a elasticidade da demanda por recursos hídricos	91
Quadro 7	– Diagrama da representação da associação espacial	104
Quadro 8	– População brasileira por Cálculo dos coeficientes técnicos de demanda hídrica das lavouras irrigadas, Ceará, 2013	158
Quadro 9	– População brasileira por Coeficientes técnicos para o consumo animal de água, Ceará, 2013	159
Quadro 10	– População brasileira Coeficiente técnico para o consumo de água da pesca e aquicultura, Ceará, 2013	160
Quadro 11	– Coeficiente Técnico Locacional das atividades econômicas que compõem os setores da Indústria e Serviços com base na mão-de-obra ocupada, Brasil e Ceará, 4º Trimestre – 2013	161
Quadro 12	– Coeficientes técnicos para o consumo de água das atividades econômicas que compõem os setores da Indústria e Serviços, Ceará, 2013	162
Quadro 13	– Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m ³) Inter setorial: Oferta e demanda de produtos domésticos – 2013	163

Quadro 14 – Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m ³) Inter setorial: todos os usos de bens e serviços, incluindo bens e serviços importados, Ceará – 2013	166
Quadro 15 – Consumo Direto de Água (CDA) e multiplicadores gerais de produção, renda e emprego em termos de fluxos de água	169
Quadro 16 – Consumo intermediário de água, Índices de Rasmussen e Hirschman para o Trás e para a Frente (Efeitos Diretos, indiretos e induzidos) dos Fluxos de Água, Ceará	171

LISTA DE SIGLAS

ADECE	Agência do Desenvolvimento do Estado do Ceará
AEDE	Análise Exploratória de Dados Espaciais
AIC	Critério de Informação de Akaike
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CEAA/Brasil	Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Água do Brasil
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CNAE	Classificação Nacional de Atividades Econômicas
CONCLA	Comissão Nacional de Classificação das Atividades Econômicas
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra as Secas
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
Funcap	Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico
I	Índice de Moran Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IL	Índice de Moran Local
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
LIK	Função de Verossimilhança
LISA	Indicadores Locais de Associação Espacial
MDE	Modelo de Defasagem Espacial
MEE	Modelo de Erro Espacial
MIP	Matriz InsumoProduto
MIPRH	Matriz de Insumo Produto de Recursos Hídricos
ML λ	Multiplicador de Lagrange para o erro espacial
ML ρ	Multiplicador de Lagrange para a defasagem espacial
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MQO	Mínimo Quadrados Ordinários

MRL λ	Multiplicador de Lagrange robusto para o erro espacial
MRL ρ	Multiplicador de Lagrange robusto para a defasagem espacial
MTE	Ministério da Economia
NCM	Nomenclatura Comum, do Mercosul
NFe	Notas Fiscais Eletrônicas
ONU	Organização das Nações Unidas
PAM	Produção Agrícola Municipal
PIB	Produto Interno Bruto
PNAD	Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios
POF	Pesquisa de Orçamento Familiar
PPM	Produção da Pecuária Municipal
SC	Critério de Informação de Schwarz
SCN	Sistema de Contas Nacionais
<i>SEEA</i>	Water System of Environmental Economic Accounting
SEFAZ - CE	Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará
SRH	Secretaria de recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
TRU	Tabelas de Recursos e Usos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
1.1	Objetivos	25
1.2	Contribuição científica/tecnológica e originalidade.....	25
1.3	Estrutura da tese	35
2	ESTIMATIVA DO CONSUMO DIRETO E INDIRETO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO	37
2.1	Introdução	37
2.2	Área de Estudo.....	38
2.3	Metodologia	40
2.3.1	<i>Construção da Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE)</i>	40
2.3.2	<i>Construção dos coeficientes técnicos de uso da água</i>	42
2.3.3	<i>Construção do vetor de demanda hídrica</i>	44
2.3.4	<i>Benefícios econômicos do uso da água</i>	45
2.3.5	<i>Consumo intermediário intersetorial</i>	46
2.4	Resultados e discussão	47
2.4.1	<i>Consumo de água entre os setores econômicos do Ceará</i>	47
2.4.2	<i>Setor agropecuário</i>	48
2.4.3	<i>Setor de serviços</i>	50
2.4.4	<i>Setor da indústria</i>	51
2.4.5	<i>Benefícios econômicos do uso da água dos produtos por setor econômicos do estado do Ceará</i>	54
2.4.6	<i>Consumo indireto intersetorial</i>	57
2.4.7	<i>Relações entre o consumo de água, o valor da produção e a ocupação setorial</i>	61
2.5	Conclusão	61
3	CONTABILIDADE MACROECONÔMICA DOS RECURSOS HÍDRICOS: UMA ABORDAGEM INSUMO-PRODUTO DOS ENCADEAMENTOS E IMPACTOS NA ECONOMIA DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL	64
3.1	Introdução	64
3.2	Metodologia	68

3.2.1	<i>Área de estudo</i>	68
3.2.2	<i>Estratégia metodológica</i>	69
3.2.3	<i>Fontes de dados</i>	70
3.2.4	<i>Multiplicadores gerais de impacto</i>	71
3.2.5	<i>Multiplicador de produção</i>	71
3.2.6	<i>Multiplicador de emprego</i>	72
3.2.7	<i>Multiplicador de renda</i>	73
3.2.8	<i>Índices de Rasmussen e Hirschman</i>	74
3.2.9	<i>Índice de ligação para trás</i>	74
3.2.10	<i>Índice de ligação para frente</i>	74
3.2.11	<i>Elasticidade do consumo de recursos hídricos a uma variação na demanda final</i>	75
3.3	Resultados e discussão	78
3.3.1	<i>Consumo direto de água: multiplicadores gerais de produção, emprego e renda</i>	78
3.3.2	<i>Consumo intermediário de água e suas ligações: Índices de Rasmussen e Hirschman</i>	81
3.3.3	<i>Índices de Rasmussen e Hirschman para trás</i>	83
3.3.4	<i>Índices de Rasmussen e Hirschman para frente</i>	83
3.3.5	<i>Multiplicadores de impacto: direto, indireto e induzido</i>	85
3.3.6	<i>Elasticidade da demanda dos fluxos hídricos</i>	90
3.4	Conclusão	92
4	DINÂMICA ESPACIAL DO CONSUMO DE ÁGUA: UMA ANÁLISE A NÍVEL MUNICIPAL E DE REGIÃO HIDROGRÁFICA	97
4.1	Introdução	97
4.2	Área de estudo	99
4.3	Metodologia	100
4.3.1	<i>Estratégia metodológica</i>	100
4.3.2	<i>Organização da base de dados e regionalização das informações</i>	101
4.3.3	<i>Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)</i>	102
4.3.4	<i>Matriz de contiguidade espacial</i>	102
4.3.5	<i>Autocorrelação espacial</i>	103
4.3.5.1	<i>Índice de Moran Global (I)</i>	104

4.4	Resultados e discussões	105
4.5	Conclusões	114
5	AVALIAÇÃO DOS FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL ENTRE OS SETORES MACROECONÔMICOS DO CEARÁ	116
5.1	Introdução	117
5.2	Área de aplicação.....	118
5.3	Metodologia	119
5.3.1	<i>Identificação da rede de comércio de bens e serviços.....</i>	<i>120</i>
5.3.2	<i>Modelo de análise multirregional de entradas-saídas.....</i>	<i>121</i>
5.3.3	<i>Análise da sensibilidade da cadeia de valor.....</i>	<i>122</i>
5.4	Resultados	127
5.4.1	<i>Identificação da cadeia de valor dos fluxos de água virtual.....</i>	<i>127</i>
5.4.2	<i>Análise dos fluxos de entrada de água virtual na cadeia de valor</i>	<i>128</i>
5.4.3	<i>Análise dos fluxos de saída de água virtual da cadeia de valor</i>	<i>130</i>
5.4.4	<i>Análise conjunta da entrada e saída de água virtual.....</i>	<i>134</i>
5.4.5	<i>Análise da sensibilidade.....</i>	<i>137</i>
5.5	Conclusões	140
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
	REFERÊNCIAS	146
	APÊNDICE A – CÁLCULO DOS COEFICIENTES TÉCNICOS DAS LAVOURAS IRRIGADAS E CONSUMO ANIMAL, ESTADO DO CEARÁ, 2013	158
	APÊNDICE B – CONSUMO INTERMEDIÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS (M³) INTER SETORIAL: OFERTA E DEMANDA DE PRODUTOS DOMÉSTICOS – 2013	163
	APÊNDICE C – CONSUMO INTERMEDIÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS (M³) INTER SETORIAL: TODOS OS USOS DE BENS E SERVIÇOS, INCLUINDO BENS E SERVIÇOS IMPORTADOS, CEARÁ – 2013	166
	APÊNDICE D – CONSUMO DIRETO DE ÁGUA (CDA) E MULTIPLICADORES GERAIS DE PRODUÇÃO, RENDA E EMPREGO EM TERMOS DE FLUXOS DE ÁGUA	169

APÊNDICE E – CONSUMO INTERMEDIÁRIO DE ÁGUA, ÍNDICES DE RASMUSSEN E HIRSCHMAN PARA O TRÁS E PARA A FRENTE (EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS) DOS FLUXOS DE ÁGUA, CEARÁ	
APÊNDICE F – ÍNDICE DE ENCADEAMENTO DE RASMUSSEN E HIRSCHMAN (EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS) DOS FLUXOS HÍDRICOS PARA TRÁS, CEARÁ	173
APÊNDICE G – ÍNDICE DE ENCADEAMENTO DE RASMUSSEN E HIRSCHMAN (EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS) DOS FLUXOS HÍDRICOS PARA FRENTE, CEARÁ	175
APÊNDICE H – ELASTICIDADE DA DEMANDA (ϵ) DOS FLUXOS HÍDRICOS, CEARÁ	177
APÊNDICE I – ALGORITMO DE REDES COMPLEXAS - MODELO DE ANÁLISE MULTIRREGIONAL DE ENTRADAS-SAÍDAS COM A ABORDAGEM DE REDE COMPLEXA	179
APÊNDICE J – RELAÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS CONSIDERADAS NO ALGORITMO DE REDES COMPLEXAS - MODELO DE ANÁLISE MULTIRREGIONAL DE ENTRADAS-SAÍDAS COM A ABORDAGEM DE REDE COMPLEXA, CEARÁ, 2013	183
ANEXO A – PARTICIPAÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS NO VALOR ADICIONADO BRUTO, CEARÁ, 2010 – 2020	185

1 INTRODUÇÃO

No contexto global, o planejamento e a gestão de recursos hídricos vêm incluindo princípios que visam uma coesão econômica, social e ambiental para equilibrar a oferta hídrica com o aumento do consumo de água devido às pressões antrópicas que se originam tanto do crescimento populacional como de processos de urbanização, saneamento ambiental e desenvolvimento dos setores produtivos. Desse modo, tem sido utilizado modelos econômicos na gestão da água, por ela ser um recurso escasso com estimado valor para o desenvolvimento e para a dinâmica das economias locais e regionais, que precisam ser avaliadas quanto à sua sustentabilidade (Schellekens *et al.*, 2018; Svensson, 2021).

Nesse aspecto, a valorização do recurso natural “água” tem suscitado atenção de organismos internacionais e do poder público, principalmente de regiões áridas e semiáridas do globo, devido à sua escassez excessiva. Em 1992, durante a Conferência de Dublin sobre Água e Meio Ambiente, foi estabelecido como um de seus princípios orientadores, que a água tem valor econômico em todos os usos competitivos e deve ser reconhecida como um bem econômico, dada a escassez deste recurso (UNESCO, 2021). No Brasil, a Lei das Águas (Lei n.º 9.433, de 8 de janeiro de 1997), em seu artigo 1.º, inciso II, define a água como um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (Brasil, 1997).

Tais definições, colocam a água em uma perspectiva econômica em relação aos seus usos múltiplos, dado que a escassez deste recurso restringe a implantação de determinadas indústrias e a expansão da fronteira agrícola (Schmitz; Bittencourt, 2016), como pode ser percebido no estado do Ceará, onde 47,5% de seu Produto Interno Bruto (PIB) são gerados em regiões que sofrem com problemas de escassez hídrica, a qual gera reflexos tanto nos níveis de preços e da produção de bens e serviços, como o caso de suas indústrias de transformação de alimentos, agricultura irrigada, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura, e serviços de apoio, os quais, são sistemas econômicos que sofrem com a restrição de água (IBGE, 2023).

Aliado a isso tem-se a segurança hídrica que necessita ser trabalhada e monitorada, uma vez que interesses sociais, ambientais e econômicos estão direta e indiretamente ligados à conservação dos recursos hídricos quanto aos seus aspectos quantitativos e qualitativos relacionados aos seus usos múltiplos. De modo que a escassez hídrica está intimamente ligada à otimização da produção de bens e serviços, retornos adequados aos produtores, satisfação das necessidades humanas de alimentos e renda e ao atendimento das necessidades sociais das famílias e das comunidades rurais (Santos, 2020; Meran *et al.*, 2021).

Para tal, a teoria microeconômica vem sendo aplicada na gestão dos recursos hídricos para trabalhar questões mais simples do sistema econômico, como o consumidor individual que se dirige ao mercado com sua renda para adquirir bens e serviços, ou a firma, como unidade de produção individual, que emprega seus fatores de produção para obter o maior lucro possível. Assim como a teoria macroeconômica, para abordar como o conjunto de consumidores e firmas influenciam o nível total de renda e do produto do sistema econômico de forma agregada (Pindyck, 2006; Vasconcellos, 2008; Dornbusch, 2013).

Na visão microeconômica aplicada à gestão de recursos hídricos pode-se citar Expósito e Berbel (2021) que formularam uma função de produção para o uso da água no cultivo da amêndoa, considerando a água como fator limitante em áreas irrigadas na Espanha. Gam e Rejeb (2021), analisaram como a situação socioeconômica do chefe do domicílio e a estrutura habitacional afetam a demanda por água potável na Tunísia com base na elasticidade-renda da demanda residencial, tendo em vista a intensificação da escassez hídrica regional. Villes *et al.* (2019) analisaram um projeto de investimento de dessalinização como alternativa ao combate da carência hídrica no agronegócio, tratando a Água como bem econômico. Pinto *et al.* (2021) analisaram a política de tarifas públicas de água, adaptando as tarifas de água às mudanças climáticas em relação à disponibilidade, custos, demanda e flexibilidade do modelo tarifário.

Na visão macroeconômica, Weinheimer *et al.* (2013) abordaram impactos da recessão americana de 2008 nas taxas de extração de água do Aquífero Ogallala nas Planícies Altas do Sul do Texas, examinando as diferenças nas variáveis macroeconômicas projetadas e como elas impactam a produção agrícola e o uso da água para irrigação. Roson e Damania (2017) avaliaram o impacto macroeconômico da escassez de água ao comparar a demanda potencial de água com estimativas de sua disponibilidade em diferentes regiões, identificando regiões que serão provavelmente limitadas quanto ao seu potencial de crescimento econômico futuro, consideramos algumas implicações econômicas decorrentes do cenário de mudanças climáticas.

Nessa vertente, em 2020, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) desenvolveram um estudo sobre o Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Água - CEAA do Brasil, este combina informações hidrológicas e econômicas, permitindo mensurar a contribuição da água para os processos de produção das atividades econômicas e na demanda das famílias, assim como o impacto desse uso sobre os estoques de recursos hídricos (IBGE, 2023).

Assim, a modelagem macroeconômica aplicada aos recursos hídricos vem preencher uma lacuna existente entre as análises microeconômicas, tendo em vista que estas últimas, apresentam algumas fragilidades em suas análises, tais como: i) as estimativas microeconômicas variam consideravelmente de um estudo para outro e são sensíveis à escolha das variáveis explicativas dada às características locais e específicas para as quais estas são aplicadas. Outras fragilidades se referem à forma funcional dos métodos microeconômicos de estimação quanto ao período de análise dos dados e ao tipo de dados utilizados (Varian, 2006; Garrone *et al.*, 2019; Gam, Rejeb, 2021).

Para Rudenko *et al.* (2013), os resultados da análise microeconômica da cadeia de valor de produtos agrícolas de uma região podem ser complementados por meio de uma análise macroeconômica para obter uma visão adicional sobre as relações do setor agrícola do produto em análise com os demais setores da economia regional.

Assim, diante de uma realidade de escassez hídrica conjuntural, insegurança hídrica e restrições econômicas vivenciada pelo estado do Ceará, a ideia de analisar os recursos hídricos por meio de análises macroeconômicas com o uso de dados agregados visa ampliar e aperfeiçoar os instrumentos de gestão e de planejamento, quanto às restrições econômicas e previsibilidade no tocante a oferta e demanda do recurso hídrico, para obter uma estimativa mais adequada dos efeitos do consumo de recursos hídricos sobre os processos produtivos regionais, integrando sistemas macroeconômicos na alocação ótima de recursos hídricos na estrutura econômica regional.

Nesse sentido, Corrêa e Corrêa (2010), Schmitz e Bittencourt (2016), Pijanowski (2017), Distefano *et al.* (2018) e Santos (2020) relatam que conhecer como os recursos hídricos são impactados e impactam a estrutura econômica regional formada pela conjuntura dos fatores econômicos, sociais, ambientais e políticos é um desafio para a gestão de recursos hídricos no curto prazo e prevê-los é fator-chave para o planejamento de longo prazo.

Feijó (2013) destaca que no âmbito da macroeconomia, a avaliação agregada das atividades econômicas se dá tanto por meio do Sistema de Contas Nacionais (SCN) como pelo modelo Insumo-Produto, o qual é um instrumento analítico que complementa e enriquece o SCN, relacionado o volume de produção com o consumo de insumos, dada a demanda final, detalhando as relações de troca entre os setores produtivos na economia.

1.1 Objetivos

O objetivo geral é construir uma metodologia de previsão de demanda hídrica utilizando a Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos (MIPRH) observando a dinâmica dos setores econômicos que compõem a estrutura produtiva do estado do Ceará.

Especificamente, pretende-se:

- a) Construir a Matriz de Insumo-Produto de Recursos Hídricos (MIPRH) para o estado do Ceará;
- b) Estimar a demanda hídrica dos setores econômicos do estado do Ceará por meio da MIPRH;
- c) Identificar os setores com melhor retorno econômico do uso da água em seus processos produtivos;
- d) Estimar o impacto do consumo setorial de água na estrutura econômica regional do Ceará;
- e) Avaliar os efeitos diretos, indiretos e induzidos dos fluxos hídricos entre os setores econômicos do estado do Ceará;
- f) Analisar a sensibilidade dos setores econômicos quanto a um choque de demanda hídrica.

1.2 Contribuição científica/tecnológica e originalidade

A pressão sobre os recursos hídricos vem crescendo em todo o mundo com escassez de água tornando-se um problema generalizado na maioria das regiões áridas e semiáridas em todo o mundo. Conforme Mekonnen e Hoekstra (2016), cerca de 4 bilhões de pessoas vivem em condições de escassez severa de água por pelo menos um mês ao ano. E conforme o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos de 2021 (UNESCO, 2021), aponta que quase 1,6 bilhão de pessoas, ou um quarto da população mundial, enfrentam escassez econômica de água, o que significa que carecem da infraestrutura necessária para ter acesso à água. Segundo Burek *et al.* (2016), o problema da escassez hídrica continuará a aumentar até 2050, quando cerca de 4,8 a 5,7 bilhões de pessoas no mundo estarão vivendo em regiões áridas e semiáridas.

Nos Estados Unidos e na África os custos associados aos danos causados pelo fenômeno da seca variaram na ordem de US\$2 a US\$6 bilhões por ano, e na União Europeia estes custos são da ordem de 3 bilhões de euros por ano. Os quais representam entre 0,05% e

0,1% do Produto Interno Bruto (PIB), podendo chegar a valores maiores em determinados anos, em que o impacto da seca se agrave mais (FAO, 2017).

Desta forma, o crescimento da demanda hídrica frente a limitada disponibilidade hídrica exige um melhor gerenciamento, tendo em vista que os recursos hídricos regionais são alocados para vários usos. Portanto, estratégias eficazes para obter maiores níveis de produtividade com o uso da água devem ser formuladas, de modo que os usos improdutivos sejam identificados e cuidadosamente tratados para melhorar a disponibilidade de água, respeitando a capacidade regenerativa que as bacias hidrográficas possuem de armazenar água (Zhang *et al.*, 2016; Yang *et al.*, 2021; FAO, 2021).

Portanto, a melhoria do retorno econômico do uso da água em setores associados como agricultura, indústria, serviços e consumo das famílias é considerada uma solução potencial para o problema da escassez de água, tendo em vista que a crescente magnitude e extensão da escassez de água está minando o desenvolvimento sustentável regional e global, segurança alimentar, serviços ecossistêmicos, criação de empregos e outros aspectos do bem-estar humano (Long; Pijanowski, 2017).

Nesta linha de ação, a Divisão de Estatísticas da ONU publicou, em 2012, o guia metodológico para as Contas Econômicas Ambientais da Água (*SEEA Water - System of Environmental Economic Accounting*), de forma que os diversos países possam sistematizar as informações disponíveis e mensurar as interações entre a economia e o meio ambiente com relação ao uso econômico da água, visando integrar os benefícios e serviços providos pelos ecossistemas nos padrões de indicadores macroeconômicos por meio da utilização dos conceitos, estruturas, regras e princípios contábeis do Sistema de Contas Nacionais, incluindo a elaboração de Tabelas de Recursos e Usos regionais que permitem a análise das interações entre a água e a economia (ONU, 2018).

Entre os estudos com a aplicação dos conceitos de Contas Econômicas Ambientais da Água (*SEEA Water - System of Environmental Economic Accounting*), podemos observar que:

- Velázquez (2006), analisou a demanda hídrica dos setores econômicos da Espanha por meio do uso da matriz Insumo-Produto, identificando que o setor da agropecuária consumiu 3.036,04 hm³ de água, o que representa 90,2% da água utilizada entre os seus setores produtivos. O setor da indústria demandou 172,28 hm³ de água (5,1%) e o setor de serviços 156,34 hm³ de água (4,6%). Ressalta-se que a estrutura econômica da

Espanha é baseada principalmente no setor de serviços que representa 67,4% do PIB da Espanha. No setor de serviços espanhol destaca-se a atividade do turismo, que representa cerca de 11% do PIB espanhol e emprega cerca de 13% da força de trabalho. Já o setor da indústria, este responde por 20,4% do PIB e o da agropecuária por 12,2% (SantanderTrade, 2023);

- Zhang *et al.* (2011) identificaram o seguinte nível de consumo de água para os setores produtivos da província de Beijing na China: agropecuária demandou 221,66 hm³ (85,5%), indústria demandou 18,92 hm³ (7,3%) e o setor de serviços 18,71 hm³ de água (7,2%). Segundo o Escritório Nacional de Estatísticas da China, o setor agropecuário de Beijing responde por 0,5% de sua economia, e produz principalmente trigo, milho, batata, legumes e frutas. A província também possui atividades ligadas à pecuária, com destaque para a pecuária de leite e de corte. O setor da indústria de Beijing representa 25,7% de seu PIB, e abrange atividades como a produção de máquinas e equipamentos, eletrônicos, automóveis, produtos químicos, farmacêuticos, têxteis e alimentos. Quanto ao seu setor de serviços, este é o que possui o maior peso em sua economia, contribuindo com 73,8% do PIB da província. Esse setor inclui atividades como finanças, comércio, educação, saúde, cultura e entretenimento. A província de Beijing é o principal centro financeiro e cultural da China e sede de várias instituições nacionais e internacionais (*National Bureau of Statistics of China – NBS, 2023*);
- Mohan *et al.* (2021) construíram um modelo Insumo-Produto para avaliar o consumo setorial de água para a província de Bali, localizada na Indonésia, verificando que o setor da agricultura demandou 5.132,8 hm³ de água (89,9%), o setor da indústria demandou 143,9 hm³ (2,5%), e o setor de serviços demandou 432,6 hm³ de água (7,6%). A economia da Indonésia é baseada principalmente nos setores da indústria e serviços. Sua indústria responde por 41,4% do PIB, sendo forte na extração de gás natural e petróleo. O setor de serviços representa 46,2% da economia, tendo como atividades principais o comércio e o turismo. Já o setor agropecuário, este responde por 12,4% do PIB, e tem como principais produtos o milho, arroz, batata-doce, mandioca, chá, café e fumo (BCA, 2023);
- Boudhar *et al.* (2017) analisaram as relações intersetoriais do uso de água na estrutura econômica de Marrocos. Na análise, o consumo de água pelo setor de serviços foi quantificado em 11.053,82 hm³ (86,9, %), o consumo da indústria em 668,93 hm³ (5,3%), e o do setor de serviço em 994,24 hm³ de água (7,8%). Em termo de estrutura

econômica, O setor agrícola de Marrocos gera em torno de 17% do PIB e é a principal fonte de empregos no país. A principal produção agrícola do país consiste em cereais (trigo, cevada), frutas cítricas (laranjas, clementinas), azeitonas, frutas rosáceas (amêndoas, maçãs, damascos, etc.), beterraba sacarina, leguminosas alimentares, hortaliças, incluindo batatas e tomates. O setor industrial responde por 32% do PIB, tendo as indústrias de automóvel e têxtil como suas principais atividades. Já o setor de serviços responde por 51% do PIB, e está baseado na prestação de serviços de finanças, comércio, educação, saúde, cultura, entretenimento e turismo (SantanderTrade, 2023).

Assim, por meio do Sistema de Contas Nacionais integrado ao Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Água (SEEA Water - System of Environmental Economic Accounting), são obtidas as estimativas anuais de transações intermediárias de produtos entre as atividades econômicas, bem como o valor bruto da produção a preços básicos destes. As tabelas que contem estas informações fazem parte das chamadas Tabelas de Recursos e Usos (TRU), que trazem em seu corpo informações sobre oferta e demanda global de bens e serviços (Santana, 2013).

Deste modo, a Contabilidade Macroeconômica Ambiental da Água é utilizada como apoio às políticas públicas ao propor a integração entre informações do uso da água como um ativo ambiental e das atividades econômicas e sociais, servindo de base para discussões de planejamento, gestão e desenvolvimento regional, visando reconhecer as conexões entre os objetivos da política de crescimento econômico e os resultados mais amplos para a sociedade (ONU, 2018).

Baseado nesses princípios macroeconômicos, este estudo centrou-se tanto na construção de contas de fluxo hídricos quanto nas implicações econômicos, sociais e ambientais do desenvolvimento e gerenciamento da água como um recurso econômico, no sentido de prover o estado com informações propícias ao crescimento sustentável, interligando conhecimentos sobre o uso da água à sua dimensão econômica.

Ele também abrange a análise dos impactos econômicos setoriais gerados pelo aumento da demanda de água e o benefício econômico gerado pelo uso da água, e sua produtividade e sensibilidade a choque externos e internos sobre a demanda final de água, os quais são importantes para identificar o uso da água na economia cearense e o estabelecimento de prioridades no planejamento e gestão de recursos hídricos sobre o desenvolvimento das atividades econômicas.

Assim, este trabalho traz como contribuição científica e tecnológica a elaboração de uma metodologia robusta para a previsão de demandas hídricas direta e indireta pelas atividades econômicas do estado do Ceará baseada na visão macroeconômica utilizando diversas bases de dados, entre estas o *Big Data* das Notas Fiscais Eletrônicas da Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará (SEFAZ-CE) com cerca de 100 milhões de registros. O estudo foi desenvolvido em parceria com o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE e os Programas Cientista Chefe de Ciência de Dados e Cientista Chefe de Recursos Hídricos da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Funcap.

Neste estudo, os fluxos hídricos são divididos em *fluxos físicos*, que representam o consumo direto de água de cada atividade econômica e em *fluxos de água virtual*, sendo estes os fluxos indiretos de consumo de água averiguados por meio do volume de água incorporado aos bens e serviços durante seu processo de produção e rastreado por meio do fluxo de comércio nos mercados locais e regionais entre os setores econômicos. Assim, os fluxos hídricos foram calculados de modo setorial e inter-setorial com base nas demandas intermediárias e finais que compõem a estrutura produtiva do estado do Ceará.

Dentre as inovações, tem-se o uso do *Big Data* de Notas Fiscais para a construção da matriz Insumo-Produto, a metodologia de coeficientes técnicos híbridos (R\$/m³) estimados para as atividades econômicas do Ceará, o entendimento das distribuições, intensidades e transmissões dos efeitos projetados do uso da água nos sistemas produtivos da economia e a análise da sensibilidade dos setores econômicos a uma variação na demanda final por recursos hídricos.

Este estudo, também, visou corrigir as limitações do modelo insumo-produto que não consegue captar as inter-relações de fluxos de água virtual em escala regional, bacias hidrográficas e de municípios. Para isso, foi utilizado a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) e os Modelos de Econometria Espacial. Estas metodologias avaliam a existência de dependência espacial entre as unidades territoriais em relação a variáveis que envolvem a estimativa para a demanda econômica por água, os quais não são capitados pelo modelo Insumo-Produto.

Além do exposto, foi realizado um levantamento bibliométrico, no período de 1968 a 2022, sobre artigos, teses e dissertações em periódicos nacionais e internacionais visando identificar a originalidade do estudo. Para tal, foram utilizadas as seguintes plataformas: Scopus, Google Acadêmico, Catálogo de Teses e Dissertações/CAPES e Science Direct,

utilizando as seguintes palavras-chave, em inglês e em português: demanda hídrica (*water demand*), análise insumo-produto (*input-output analysis*), matriz insumo-produto (*input-output matrix*) e análise macroeconômica (*macroeconomic analysis*)

Foram levantados 121 estudos por meio das palavras-chave. Desse total, 77 referem-se ao tema recursos hídricos, entre os quais, há análises interdisciplinares com as seguintes áreas: ciência da computação (5), ciência dos materiais (1), ciências agrárias (2), ciências da decisão (1), ciências sociais (1), economia (25), energia (2), engenharia civil/recursos hídricos (8), engenharia mecânica (2), engenharia química (1), matemática (1), meio ambiente (26), química (1) e saúde (1).

Dentes os 77 artigos que tratam do tema Recursos Hídricos, 28 estudam de forma específica aspectos e fatos sobre a demanda hídrica, sendo que apenas 9 estudos trabalham uma abordagem macroeconômica aplicada a recursos hídricos por meio do uso da matriz Insumo-Produto (Quadro 1).

Ressalta-se que entre os artigos que aplicam o modelo Insumo-Produto para mapear a demanda hídrica, somente os setores da indústria e/ou da agropecuária são contemplados, portanto, não abordam o setor de serviços e suas atividades como é feito no estudo “*Macroeconomic Accounting of Water Resources: An Input-Output Approach to Linkage Analysis and Impact Indicators Applied to the State of Ceará, Brazil*”, publicado na revista *Water* em 2021, o qual faz parte desta Tese. Outro ponto observado nestes artigos, é que na maioria das análises, o foco está no entendimento dos fluxos de água virtual pelo comércio internacional.

No que se refere ao levantamento bibliográfico utilizando as plataformas do Google Acadêmico, Catálogo de Teses e Dissertações/CAPES e Science Direct, foram catalogados 31 estudos (1 tese, 4 dissertações e 26 artigos científicos) que abordam conjuntamente os temas: matriz insumo-produto, recursos hídricos e análise macroeconômica, compreendendo o período de 2002 a 2021 (Quadro 1).

O levantamento bibliométrico aponta a existência de poucos estudos no Brasil e no mundo que fazem o uso do Modelo Matriz Insumo-Produto para a estimativa das demandas hídricas pelos setores e atividades econômicas de forma regionalizada por estado e por Bacias Hidrográficas localizados em região semiárida, como o estado do Ceará que possui 98% de seu território situado na região semiárida.

Deste modo, apontam-se como contribuições científicas e técnicas desse estudo:

- a) a utilização de um sistema *Bigdata*, que dentre outras fontes de informações setoriais, também recorreu à base de dados das Notas Fiscais Eletrônicas, que contabiliza mais de 100 milhões de registros, o que possibilitou a melhor aferição das nuances da economia cearense;
- b) a identificação e quantificação do uso direto e indireto das demandas hídricas agregadas dos principais setores econômicos do estado do Ceará;
- c) identificação do valor monetário do uso da água na produção de bens e serviços;
- d) análise dos fluxos hídricos para os setores de indústria e serviços;
- e) estimativa do impacto dos setores econômicos (agricultura, indústria e serviços) em termos de consumo direto de água com base nos multiplicadores gerais de produção, emprego e renda;
- f) avaliação dos setores com maior poder para propagar o consumo indireto de água na economia por meio de sua demanda, e de sua oferta intersetorial de bens e serviços na forma de insumos produtivos utilizados como consumo intermediário;
- g) identificação regionalizada por bacia hidrográfica e por município dos fluxos de água gerados pelo comércio inter-regional de bens e serviços entre centros de produção e consumo.

Com isso, a estrutura do estudo subsidia a gestão dos recursos hídricos quanto ao estabelecimento de prioridades de uso e a racionalização das quantidades empregadas da água entre os diferentes setores econômicos. Ele também possibilita uma melhor análise dos impactos da alocação de recursos hídricos entre as atividades econômicas ao nível regional, tendo em vista que o planejamento e gestão dos recursos hídricos do Ceará tem ao longo de sua história, focado na oferta hídrica.

Quadro 1: Levantamento bibliográfico de estudos que utilizaram uma abordagem macroeconômica aplicada aos recursos hídricos por meio do uso da matriz Insumo-Produto, 2002-2021.

Título	Autor (es)	Revista	Ano
Macroeconomic Accounting of Water Resources: An Input-Output Approach to Linkage Analysis and Impact Indicators Applied to the State of Ceará, Brazil	Soares, R.B.; da Silva, S.M.O.; Souza Filho, F.d.A.d.; Paiva, W.d.L.	Revista Water	2021
An extended Input-Output framework for evaluating industrial sectors and provincial-level water consumption in Indonesia	Mohan, G; Chapagain, S. K.; Fukushi, K.; Papong, S.; Sudarma, I. M.; Rimba, A. B.; Osawa, T.	Water Resources and Industry	2021
Water-energy-food nexus of sugarcane ethanol production in the state of Goiás, Brazil: An analysis with regional input-output matrix	Bellezoni, R.A., Sharma, D., Villela, A.A., Pereira Junior, A.O.	Biomass and Bioenergy	2018
Crescimento econômico e pressão sobre recursos hídricos	Schmitz, A.P., Bittencourt, M.V.L.	Estudos Economicos	2017
Integrating a regional social accounting matrix with environmental accounts (Samea). An illustration for a Spanish region	Solís, A.F., Paniagua, M.M., Vélez, F.J.D.M.	Revista Portuguesa de Estudos Regionais	2016
An extended input output table compiled for analyzing water demand and consumption at county level in China	Deng, X., Zhang, F., Wang, Z., Li, X., Zhang, T.	Sustainability	2014
Water consumption based on a disaggregated social accounting matrix of huesca (Spain)	Cazcarro, I., Pac, R.D., Sánchez-Chóliz, J.	Journal of Industrial Ecology	2010
Water in the economy of Tamil Nadu, India: More flexible water allocation policies offer a possible way out of water-induced economic stagnation and will be good for the environment and the poor	Bhatia, R., Briscoe, J., Malik, R.P.S., Miller, L., Misra, S., Palainisami, K., Harshadeep, N.	Water Policy	2006
The Environmental Matrix: Input-Output Techniques Applied to Pollution Problems in Ontario	Lee, T.R., Fenwick, P.D.	Journal of the American Water Resources Association	1973

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Quadro 2 - Levantamento bibliográfico utilizando as plataformas do Google Acadêmico, catálogo de teses e dissertações CAPES e Science Direct, abordando conjuntamente os temas: matriz Insumo-Produto, recursos hídricos e análise macroeconômica 2002-2021.

Título	Autor	Ano	Tipo de Estudo	Meio de Publicação
Relações Econômicas do Ceará e a Importância da Água e da Energia Elétrica no Desenvolvimento do Estado.	Lima, Patrícia Verônica Pinheiros Sales.	2002	Tese	Biblioteca Depositária Central da ESALQ
An input-output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia.	Velázquez, E	2006	Artigo	Revista Ecological Economics
Matriz de coeficientes técnicos de recursos hídricos para o setor industrial brasileiro.	Lisboa, Luana.	2010	Dissertação	Biblioteca Depositária Central da UFV
Estudo dos impactos econômicos da cobrança pelo uso da água na Bacia do Rio São Francisco: Uma abordagem de Insumo-Produto.	Santana, Tiago Abreu Rodrigues	2010	Dissertação	Biblioteca Depositária da Faculdade de Ciências Econômicas
Direct and Indirect Water Withdrawals for U.S. Industrial Sectors.	Blackhurst, B.; Hendrickson, C.; Vidal, J.	2010	Artigo	Revista Environmental Science & Technology
Analyses of water footprint of Beijing in an interregional input-output framework.	Zhang, Z.; Yang, H.; Shi, M.	2011	Artigo	Revista Ecological Economics
Matriz de Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos para o Setor Industrial Brasileiro.	Lisboa, L.	2014	Artigo	Revista da Associação Brasileira de Recursos Hídricos
A multi-regional input-output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China.	Zhang, C.; Anadon, L.D.	2014	Artigo	Revista Ecological Economics
An input-output structural decomposition analysis of changes in sectoral water footprint in China.	Wang, X. et al.	2016	Artigo	Revista Ecological Indicators
Pegada hídrica da economia brasileira: uma análise de insumo produto.	Picoli, Ina Thome.	2016	Dissertação	Biblioteca Depositária Central da Unicamp
A three-scale input-output analysis of water use in a regional economy: Hebei province in China.	Liu, S. et al.	2017	Artigo	Journal of Cleaner Production
A. An input-output framework for analysing relationships between economic sectors and water use and intersectoral water relationships in Morocco.	Boudhar, A.; Boudhar, S.; Ibourk,	2017	Artigo	Journal Economic Structures
Physical Transfer of Water Versus Virtual Water Trade: Economic and Policy Considerations.	Dinesh Kumar, M.	2017	Artigo	Revista Water Economic Policy
The macroeconomic impact of future water scarcity. An assessment of alternative scenarios.	Roson, R., & Damania, R.	2017	Artigo	Revista Policy Modeling
Economic accounting of water: The Botswana experience.	Setlhogile, T.; Arntzen, J.; Pule, O.B.	2017	Artigo	Revista Physics and Chemistry of the Earth
Systemic risk in the global water input-output network.	Distefano, T.; Riccaboni, M.; Marin, G.	2018	Artigo	Revista Water Economic
O Papel do Brasil no Comércio Internacional de Água Virtual: Uma Análise de Insumo-Produto'.	Bergmann, Ana Claudia.	2019	Dissertação	Biblioteca Depositária da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE
Uncovering urban food-energy-water nexus based on physical input-output analysis: The case of the Detroit Metropolitan Area.	Feng, C.; Qu, S.; Jin, Y.; Tang, X.; Liang, S.; Chiu, A.C.F.; Xu, M.	2019	Artigo	Revista Applied Energy

Characterizing and modeling subnational virtual water networks of US agricultural and industrial commodity flows.	Garcia, S.; Mejia, A.	2019	Artigo	Revista Advances in Water Resources
Provincial virtual energy-water use and its flows within China: A multiregional input-output approach.	Lin, L.; Chen, Y.D.; Hua, D.; Liu, Y.; Yan, M.	2019	Artigo	Revista Resource, Conservation.& Recycling
Análise insumo-produto regional de recursos hídricos para o Ceará.	Soares, R.B.; Silva, S.M.O.; Filho, F.d.A.S.; Paiva,W.d.L.	2019	Capítulo do Livro	Livro: Adapta - Gestão Adaptativa do Risco Climático de Seca
A three-scale input-output analysis of blue and grey water footprint for Beijing-Tianjin-Hebei Urban Agglomeration.	Tian, Z.; Wang, S.; Chen, B.	2019	Artigo	Revista Energy Procedia
Virtual water flow pattern of grain trade and its benefits in China.	Wang, Z.; Zhang, L.; Ding, X.; Mi, Z.	2019	Artigo	Revista Cleaner Production
Assessment of Inter-Sectoral Virtual Water Reallocation and Linkages in the Northern Tianshan Mountains, China.	Gao, D.; Long, A.; Yu, J.; Xu, H.; Su, S.; Zhao, X.	2020	Artigo	Revista Water
Water-energy scarcity nexus risk in the national trade system based on multiregional input-output and network environ analyses.	Liu, Y.; Chen, B.	2020	Artigo	Journal Applied. Energy
Inter-Regional Agricultural Virtual Water Flow in China Based on Volumetric and Impact-Oriented Multi-Regional Input-Output (MRIO) Approach.	Ren, Y.; Huang, K.; Yu, Y.; Hu, J.	2020	Artigo	Revista Water
Book Review: The Water Footprint of Modern Consumer Society.	Ruess, P.	2020	Artigo	Revista Water Economic Policy
Defining Sustainability in an Input–Output Model: An Application to Spanish Water Use.	Cámara, Á.; Llop, M.	2021	Artigo	Revista Water
Managing the water-energy-food nexus in China by adjusting critical final demands and supply chains: An input-output analysis.	Deng, H.M.;Wang, C.; Cai,W.J.; Liu, Y.; Zhang, L.X.	2021	Artigo	Revista Science of The Total Environment
Water-energy nexus within urban agglomeration: An assessment framework combining the multiregional input-output model, virtual water, and embodied energy.	Liu, Z.; Huang, Q.; He, C.; Wang, C.; Wang, Y.; Li, K.	2021	Artigo	Revista Resource, Conservation.& Recycling

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

1.3 Estrutura da Tese

Esta tese de doutorado está organizada em 6 (seis) partes, sendo uma introdução, quatro capítulos sobre o tema e uma seção final de fechamento com as considerações finais.

Introdução - Este capítulo apresenta os antecedentes gerais e a importância da utilização de princípios e modelos econômicos no planejamento e gestão de recursos hídricos, tendo em vista que a água é um bem natural escasso com estimado valor econômico para o desenvolvimento e para a dinâmica das economias locais e regionais, visando equilibrar a oferta hídrica com o aumento do consumo da água devido às pressões antrópicas que se originam tanto do crescimento populacional como de processos de urbanização, saneamento ambiental e desenvolvimento dos setores produtivos.

Este capítulo também traz em seu contexto, o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa, bem como questões sobre a contribuição científica, tecnológica e originalidade do estudo por meio de uma pesquisa bibliográfica em plataformas de periódicos, teses e dissertações.

Capítulo 1: Estimativa do Consumo Direto e Indireto de Recursos Hídricos: Uma Análise Insumo-Produto. O primeiro artigo trabalha a análise do consumo direto e indireto de água das atividades econômicas do estado do Ceará, de forma setorial e intersetorial, além de medir os benefícios econômicos desse uso. Para tal, elaborou-se a matriz insumo-produto de recursos hídricos com base na matriz insumo-produto regional do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará considerando 32 setores e 58 produtos.

Capítulo 2: Contabilidade Macroeconômica dos Recursos Hídricos: Uma Abordagem Insumo-Produto dos Encadeamentos e Impactos na Economia do Estado do Ceará, Brasil. O segundo artigo compreende a identificação dos encadeamentos da demanda hídrica dos principais setores da estrutura econômica, considerando seus fluxos de água virtual, com o objetivo de estimar o impacto de cada setor, destacando características sistêmicas da demanda hídrica dos setores econômicos na economia regional, no intuito de subsidiar estabelecimento de prioridades de uso da água e a avaliação da segurança hídrica.

Com base na Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará, este capítulo utiliza as seguintes abordagens metodológicas: i) Índices Rasmussen e Hirschman para a identificação do grau das "ligações para frente e para trás" dos setores econômicos do Ceará; ii) multiplicadores gerais de produção, trabalho e renda; iii) Cálculo da Elasticidade da demanda final de água. Para tal, foram analisados 32 setores econômicos e o consumo das famílias.

Capítulo 3: Dinâmica espacial do consumo de água: uma análise a nível

municipal e de região hidrográfica. O terceiro artigo tem como objetivo analisar a demanda total de água da estrutura econômica do Ceará, observando o desempenho dos macros setores econômicos (agropecuária, indústria e serviços), utilizando modelos de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), Teoria de Redes por meio da Análise Input-Output de Água Virtual pelos Fluxos de Comércio e Modelos de Econometria Espacial, os quais possibilitam um melhor exame da segurança hídrica local.

Capítulo 4: Avaliação dos Fluxos de Água Virtual entre os Setores Macroeconômicos do Ceará. O quarto artigo tem como objetivo identificar e avaliar como os fluxos de água virtual estão ocorrendo por meio do comércio de bens e serviços entre os municípios e regiões hidrográficas do Ceará, com a aplicação de um algoritmo de redes complexas - Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas, para a identificação e avaliação dos fluxos de água virtual, combinada com a análise estrutural da economia do estado do Ceará utilizando a Matriz Insumo-produto de recursos Hídricos e com modelos de econometria espacial.

De forma que os resultados gerados pelos modelos de econometria espacial visam analisar o nível de sensibilidade das cadeias de valor ao mensurar a intensidade do nível de impacto que cada setor macroeconômico exerce sobre a demanda de recursos hídricos municipal devido aos seus desempenhos econômicos, tendo como base os encadeamentos de fluxos hídricos intra e inter-regionais mapeados pelo algoritmo de redes complexas. Sendo que, estas informações são relevantes à gestão de recursos hídricos e precisam ser analisadas.

Seção final: Considerações Finais. Nesta seção, é apresentado um resumo das principais conclusões obtidas pelo desenvolvimento dos três artigos que integram este trabalho, fazendo menção sobre as principais lacunas metodológicas e sugestões para trabalhos futuros. Essa estrutura de trabalho teve como objetivo ampliar a discussão sobre o uso de princípios e modelos econômicos no planejamento e gestão de recursos hídricos em regiões semiáridas, por meio do Modelo Insumo-Produto aplicado a recursos hídricos, construído com base nos fluxos de água virtual gerados pelas interações da estrutura econômica regional do Ceará.

Nesse contexto, os capítulos 1, 2, 3 e 4 compreendem o desenvolvimento e integração de metodologias relevantes para tratar sobre a demanda e alocação de água entre os setores produtivos do Ceará, abordando também suas interdependências setoriais no sistema econômico. Estabelecendo um modelo de decisão baseado em critérios, o que auxiliará no planejamento otimizado dos recursos hídricos no Estado.

2 ESTIMATIVA DO CONSUMO DIRETO E INDIRETO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

O estudo objetivou mapear o consumo direto e indireto de água do estado do Ceará, de forma setorial e intersetorial, e medir os benefícios econômicos desse uso. Para tal, elaborou-se a Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos com base na matriz insumo-produto regional do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará considerando 32 setores e 58 produtos. Foi construído um vetor de consumo hídrico para o setor j no seu processo produtivo i , expresso em termos de coeficientes técnicos híbridos, visando transformar os fluxos monetários em fluxos físicos de água, para representar o consumo de água de cada atividade econômica. Entre estes setores analisados, a agropecuária apresentou o maior consumo direto de água com 62,08%, gerando um retorno econômico de R\$8,04/m³. Enquanto os setores da indústria e de serviços responderam, respectivamente, por 7,42% e 30,50% da demanda total de água do estado, apresentando os seguintes benefícios econômicos pelo uso da água: R\$573,94/m³ e R\$249,89/m³. Ao contabilizar o consumo indireto intersetorial de recursos hídricos, considerando apenas a oferta MIP/CE e Demanda de Produtos Domésticos, verificou-se um consumo de 193.471.666m³, com as seguintes participações dos setores da agropecuária (19,37%), indústria (12,95%) e de serviços (67,68%). Já a análise do consumo indireto de água virtual observando todos os usos de bens e serviços na economia do estado do Ceará, o consumo intermediário foi da ordem de 453.523.508m³, com o setor da indústria respondendo por 82,11%, a agropecuária por 9,16%, e o setor de serviços por 8,73%.

Palavras-chave: Estrutura Econômica Regional. Demanda Hídrica. Benefícios Econômicos.

2.1 Introdução

O crescente aumento da demanda hídrica, impulsionado pelo aumento da população, vem disparando diversas discussões sobre a segurança hídrica. Além disso, a poluição dos recursos hídricos e os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre a oferta de água tem dado notoriedade a este tema.

A segurança hídrica está relacionada com a gestão da oferta, da demanda e dos conflitos. Estes três pilares requerem, de alguma forma, a compreensão dos usos da água e das relações entre esses usos. Segundo Distefano, Riccaboni e Marin (2018), a quantificação do uso direto e indireto da água e as interdependências dos setores produtivos podem ser avaliadas por

meio da análise Insumo-Produto. Esta análise também permite expressar o valor monetário do uso da água na produção de bens e serviços, e nas transações econômicas que ocorrem em todos os setores de uma economia.

Dessa forma, uma Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do estado do Ceará (MIPRH/CE) permitirá a avaliação regional do uso e das trocas de recursos hídricos entre os setores econômicos, bem como, uma análise inter-regional do impacto econômico do uso e das trocas de recursos hídricos visando melhor qualificar a tipologia do uso da água e quantificar o retorno econômico deste insumo para a formulação de estratégias por parte dos tomadores de decisão, quanto à segurança hídrica e possíveis vulnerabilidades na alocação deste recurso (FAO, 2017; CEPAL, 2017).

De acordo com Miller e Blair (2009), a análise de insumo-produto fornece uma estrutura útil para rastrear o uso de um recurso e de seus associados, como poluição ambiental e geração de empregos ou fluxos de materiais físicos relacionados às atividades Inter setoriais.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi realizar a análise insumo-produto regional de recursos hídricos para o estado do Ceará, assumindo a hipótese que o setor agropecuário possui o maior consumo de água dentre os outros setores. Essa análise tem o intuito de facilitar o processo de decisão por parte dos gestores de recursos hídricos, inclusive no que se refere a elaboração de modelos e instrumentos de planejamento e gestão deste recurso, além de possibilitar a análise dos impactos econômicos setoriais gerados pelo aumento da demanda de água como também da produtividade da água.

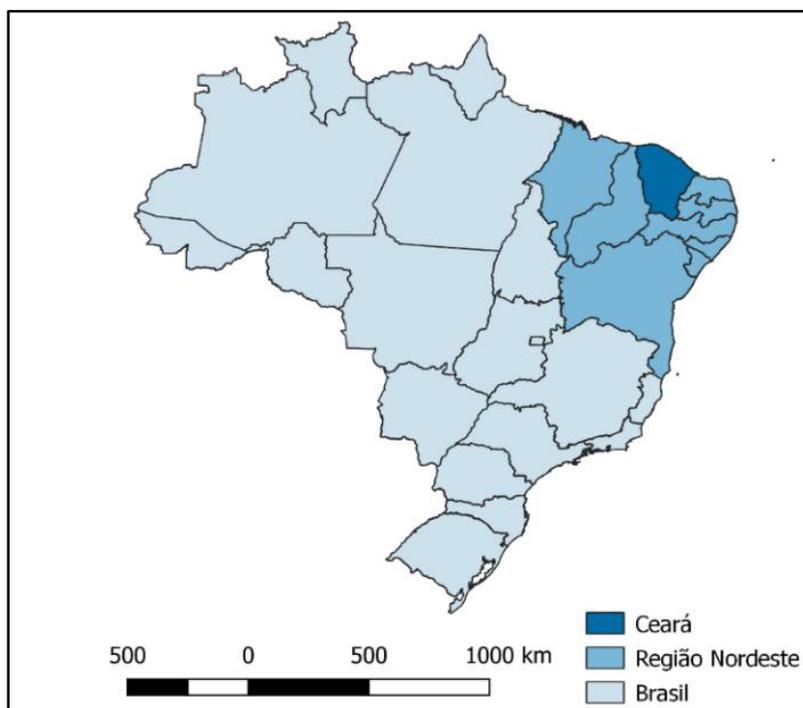
A Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE) foi construída com base na Matriz Insumo-Produto do Ceará (MIP/CE) elaborada pelo Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará – IPECE em 2018 para o ano de 2013 por ser este o ano que melhor representava a estrutura econômica do estado. Segundo o IPECE (2018), esta matriz teve como objetivo a elaboração de um sistema de Contas Macroeconômicas mais complexo, utilizando como diferencial um sistema Bigdata, que dentre outras fontes de informações setoriais, também usou a base de dados das Notas Fiscais Eletrônicas, que contabiliza mais de 100 milhões de registros, o que possibilitou a melhor aferição das “*nuances*” da economia cearense.

2.2 Área de Estudo

O Ceará está localizado na região Nordeste do Brasil (Figura 1), e possui uma área territorial de 148.894,75 km², com uma população de, aproximadamente, 9.075.649 habitantes

(IBGE, 2019). Possui 95% de seus municípios inseridos na região do semiárido (SUDENE, 2017). Essa configuração se caracteriza pela aridez do clima, pela deficiência hídrica, variabilidade espacial e temporal das precipitações pluviométricas e pela presença de solos pobres em matéria orgânica.

Figura 1 – Localização do estado do Ceará



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A segurança hídrica da população do Estado e das atividades econômicas durante os períodos de escassez são, portanto, fortemente dependentes de sofisticada infraestrutura hídrica, com reservatórios, interligação de bacias, canais e adutoras, entre outros. No Ceará, além de milhares de reservatórios de menor porte (mais de 15.000), 153 reservatórios são considerados estratégicos por concentrarem a capacidade de armazenamento plurianual (18,93 bilhões de m³), distribuídos nas 12 regiões hidrográficas do Estado (Ceará, 2018).

O Ceará é um estado com baixa disponibilidade hídrica, devido à combinação de uma série de fatores, sobretudo: baixos índices de precipitação (inferiores a 900 mm); altas taxas de evaporação (superiores a 2.000mm); irregularidade do regime de precipitação (secas frequentes e por vezes plurianuais); e um contexto hidrogeológico desfavorável (80% do território sobre rocha cristalina, com camada de solo raso e poucos recursos hídricos subterrâneos).

Neste cenário as crises devido à escassez hídrica associada as secas marcaram os ciclos de desenvolvimento do Ceará, estas produziram colapsos na produção, economia, nos sistemas urbanos, na saúde entre outros setores, produzindo migrações e grande sofrimento para as populações.

2.3 Metodologia

Para o desenvolvimento do estudo, inicialmente, foi incorporado o insumo água na Matriz Insumo-Produto do Ceará com base nas metodologias descritas por Lima (2002) e Miller e Blair (2009), de forma adaptada para o estado, a partir da construção de um vetor de consumo de água para o setor j em seu processo produtivo i , utilizando coeficientes técnicos híbridos expressos em R\$/m³.

A Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE) foi elaborada em três etapas: 1) estimação e calibração dos coeficientes técnicos de demanda hídricas das atividades econômicas do Ceará, 2) construção do vetor de demanda hídrica, 3) estimação da MIPRH/CE para obtenção da demanda final de recursos hídricos sendo considerado 32 setores e 58 produtos, conforme Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0.

Foram utilizadas como base de dados as pesquisas regionais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, do Ministério da Economia (MTE), da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), a base de dados das Notas Fiscais Eletrônicas da Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará (SEFAZ-CE) com cerca de 100 milhões de registros, dados das Contas Regionais do Ceará, a Pesquisa Nacional de Amostra por Domicílios – PNAD, a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF), dados da Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ, da Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária - INFRAERO, do Ministério da Indústria, do Comércio Exterior e Serviços.

2.3.1 Construção da Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE)

A MIPRH/CE representa a demanda pelo recurso água pelas atividades econômicas do Ceará, tanto de forma direta como indireta (Quadro 3).

Quadro 3 – Modelo insumo-produto com o insumo água.

	Consumo Intermediário			Produção Total	
	Setores consumidores			Demanda Final	Produção Total
	Setor 1	Setor 2	Setor 3		
Produto 1	Z11	Z12	Z13	Y1	Z1
Produto 2	Z21	Z22	Z23	Y2	Z2

Produto 3	Zn1	Z1n	Z33	Y3	Z3
Insumo Água	Dw1	Dw2	Dw3	Yw	D

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de Miller e Blair (2009).

Destacam-se duas etapas principais na elaboração dessa metodologia:

- i. Construção dos coeficientes técnicos de demanda hídrica dos setores econômicos da indústria, serviço e agropecuária;
- ii. Estimativa da demanda final por recursos hídricos finais.

Conforme a teoria básica dos modelos de insumo-produto, a descrição matemática do quadro 1, será feita por meio do seguinte conjunto de equações:

$$Z1 = Z11 + Z12 + Z13 + Y1 \quad (1)$$

$$Z2 = Z21 + Z22 + Z23 + Y2 \quad (2)$$

$$Z3 = Z31 + Z32 + Z33 + Y3 \quad (3)$$

$$D = Dw1 + Dw2 + Dw3 + Yw \quad (4)$$

Em que, Z_i representa o total de produção do setor i ; Z_{ij} corresponde ao fluxo monetário entre os setores i e j ; Y_i é a demanda final do setor i ; D é o consumo total de água; Dw_j representa o consumo de água do setor j no seu processo produtivo e Y_w é a demanda de água por parte das famílias. Os coeficientes técnicos são calculados conforme as equações:

$$a_{ij} = \frac{Z_{ij}}{Z_j} \rightarrow Z_{ij} = a_{ij} \times Z_j \quad (5)$$

$$W_j = \frac{D_{wj}}{Z_j} \rightarrow Dw_j = W_j \times Z_j \quad (6)$$

Em que, a_{ij} é o coeficiente técnico de insumo direto; W_j é o coeficiente técnico direto da água ou o quanto o setor j utiliza de água por unidade produzida. Substituindo-se Z_{ij} e Dw_j nas equações 1 tem-se:

$$Z1 = A_{11}Z_{11} + A_{12}Z_{12} + A_{13}Z_{13} + Y_1 \quad (7)$$

$$Z2 = A_{21}Z_{21} + A_{22}Z_{22} + A_{23}Z_{23} + Y_2 \quad (8)$$

$$Z_3 = A_{31}Z_{31} + A_{32}Z_{32} + A_{33}Z_{33} + Y_3 \quad (9)$$

$$D = W_{41}Z_{41} + W_{42}Z_{42} + W_{43}Z_{43} + Y_4 \quad (10)$$

As equações supracitadas podem ser representadas de forma abreviada, como:

$$Z_i = \sum_{j=1}^3 A_{ij} Z_j + Y_i \quad (11)$$

$$D = \sum_{j=1}^3 W_j Z_j + Y_w \quad (12)$$

Em que, Z é a matriz do fluxo monetário entre os setores i e j tradicional; A é a matriz de coeficientes técnicos diretos dos insumos; Y é o vetor de demanda final; Y_w é o vetor de demanda por água; D é a matriz de demanda por água, e cada elemento “ D_j ” especifica a quantidade de água usada na produção total do setor j ; e W é a matriz de coeficientes técnicos diretos da água, sendo que cada elemento “ W_j ” corresponde à quantidade de água necessária à produção de uma unidade monetária pelo setor j .

2.3.2 Construção dos coeficientes técnicos de uso da água

Tendo em vista a precariedade de dados e informações sistemáticas referentes ao uso da água pelos diferentes setores da economia cearense, os coeficientes técnicos empregados para compor o vetor de consumo de água da MIPRH/CE foram estimados com base na Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (MMA, 2011) e nos coeficientes técnicos estimados por Picoli (2016) (Figura 2.2).

Também foram utilizados dados primários sobre o consumo de água pelas atividades ligadas a agricultura irrigada, levantados na região do Baixo e Médio Jaguaribe-CE pelo DNOCS - Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. Além de dados secundários coletadas junto às seguintes instituições: Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará (CAGECE), Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH), Secretaria de recursos Hídricos (SRH) e Agência do Desenvolvimento do Estado do Ceará (ADECE).

Os coeficientes foram regionalizados por meio de indicadores econômicos levantados pelas pesquisas setoriais do IBGE (IBGE, 2018a, IBGE, 2018b, IBGE, 2018c), do

MTE (Brasil, 2018a; Brasil, 2018b), do IPECE (IPECE, 2018a). Os indicadores utilizados foram: produção, valor bruto da produção e número de empregos por atividade econômica e área plantada com lavouras irrigadas.

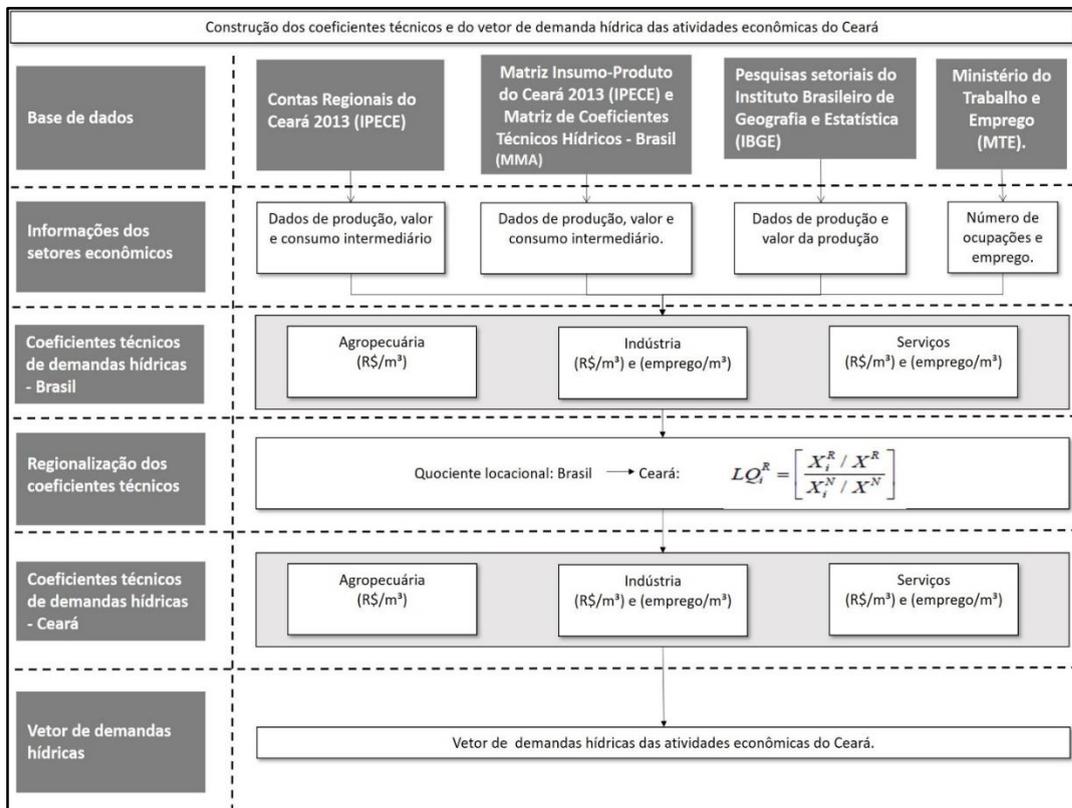
Para a regionalização aplicou-se a metodologia baseada em Quocientes Locacionais, sendo consistente com o nível de especialização dos setores produtivos de cada região, uma vez que comparam a participação de cada setor em uma determinada região em relação à sua participação no estado na totalidade (LIMA, 2002; GUILHOTO et al., 2017). O quociente locacional é definido pela equação 13.

$$LQ_i^R = \left[\frac{X_i^R / X^R}{X_i^N / X^N} \right] \quad (13)$$

Em que, X_i^R é a produção total do setor i da região R ; X^R é a produção total da região R ; X_i^N é a produção nacional total do setor i ; e X^N é a produção nacional total.

Esta relação mede a participação relativa do setor i na economia da região R em relação à participação do mesmo setor na economia nacional.

Figura 2 - Metodologia da construção dos coeficientes técnicos e vetor de demanda hídrica das atividades econômicas do Ceará.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Os coeficientes técnicos (R\$/m³) e a demanda hídrica (m³) do setor Agropecuária foram calibrados pela área irrigada e pelo rebanho levantado pelo Censo Agropecuário (2006) e pelo Levantamento Sistemático da Produção Agropecuária do Ceará e pela Produção da Pecuária Municipal (PPM) e dados de ocupação e de valor da produção, para melhor representar a estrutura econômica deste setor. Ressalta-se que as atividades econômicas ligadas ao setor agropecuário consomem essencialmente água bruta¹ (Apêndice A).

A metodologia para as estimativas das vazões para criação animal foi aplicada conforme “Manual de Outorga” desenvolvido pela ENGECORPS e as estimativas de demanda de água (m³) para irrigação para os meses mais críticos foram calculados com base no “Plano Nacional de Recursos Hídricos e Relatório Técnico n.º 6”: Relatório Final dos Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos das Atividades Industrial e Agricultura Irrigada, elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011).

A demanda de água na agricultura irrigada foi obtida com base no balanço hídrico das áreas irrigadas, dos aspectos inerentes à espécie cultivada e ao tipo de irrigação e das condições de manejo aplicadas, expressos na unidade de m³/hectare ano. Para isso, foi estabelecido o uso de valores médios para a irrigação tomando como base os meses menos e mais críticos, e as relações normalmente observadas no Ceará entre as dotações anuais e as referidas dotações mensais (Apêndice A).

Para o cálculo da vazão de consumo da irrigação foi utilizada a seguinte equação:

$$ET_{pc} = ET_o \times K_C \times EI \quad (14)$$

Em que, ET_{pc} representa a evapotranspiração potencial da cultura (mm.dia-1); ET_o corresponde à evapotranspiração de referência (mm.dia-1); K_c é o coeficiente da cultura (adimensional); e EI, a eficiência do uso da água na irrigação.

O parâmetro “ET_o” da equação 14, foi determinada a partir de variáveis meteorológicas obtidas de forma pontual (em cada estação meteorológica) que foram espacializados para cada sede municipal, utilizando o método de extrapolação pelo inverso do quadrado da distância, obtida pelo método de Penman–Monteith–FAO (MMA, 2011).

2.3.3 Construção do vetor de demanda hídrica

A construção do vetor de demanda hídrica foi realizada com base na aplicação de

¹ Conforme a Secretaria dos Recursos Hídricos do Ceará (2018), água bruta é a água que ainda não passou por uma Estação de Tratamento de Água – ETA para ser tratada.

coeficientes técnicos de consumo de água para cada produto elencado na Matriz Insumo-Produto do estado do Ceará – 2013, de acordo com a tipologia de atividades econômicas discriminadas para cada setor econômico (Figura 2).

O vetor de demanda hídrica foi introduzido na MIP/CE para a construção da MIPRH/CE utilizando as equações a seguir (Lima, 2002; Miller & Blair, 2009):

$$Z = AZ + Y = (I - A)^{-1}Y \quad (15)$$

$$D = WZ + Y_W \quad (16)$$

Substituindo-se o valor de Z na equação 16, tem-se:

$$D = W(1 - A)^{-1}Y + Y_W \quad (17)$$

Em que, Z é a matriz do fluxo monetário entre os setores i e j tradicional; A é a matriz de coeficientes técnicos diretos dos insumos; Y é o vetor de demanda final; Y_w é o vetor de demanda por água; D é a matriz de demanda por água, e cada elemento “D_j” especifica a quantidade de água usada na produção total do setor j; W é a matriz de coeficientes técnicos diretos da água, sendo que cada elemento “W_j” corresponde à quantidade de água necessária à produção de uma unidade monetária pelo setor j; e W(I-A)⁻¹ é a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos de demanda por água ou matriz de requerimentos diretos e indiretos.

Cada elemento desta matriz reflete o quanto o setor j necessita, direta e indiretamente, do insumo água, para satisfazer a uma demanda de uma unidade monetária. A soma das linhas dessa matriz fornece o total de consumo da água por setor para atender às mudanças na sua demanda final, ou seja, o quanto cada setor irá requerer de água, de si próprio e dos demais setores da economia.

2.3.4 Benefícios econômicos do uso da água

Os benefícios econômicos do uso da água foram calculados a partir da construção de dois indicadores de retorno econômico do uso da água: a) coeficiente dos benefícios econômicos diretos e indiretos de uso da água (W), e b) coeficiente dos benefícios econômicos totais de uso da água (D).

Os benefícios econômicos diretos do coeficiente de uso da água W_j são definidos como o valor agregado do setor Z_j, por seu uso direto da água D_j.

$$W = \frac{Z_j^d}{D_j^d} \quad (18)$$

No termo da Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos, $W(I-A)^{-1}$ é a matriz de coeficientes técnicos diretos de demanda por água ou matriz de requerimentos diretos. Cada elemento desta matriz reflete o quanto o setor j necessita, direta e indiretamente, do insumo água, para satisfazer a uma demanda de uma unidade monetária; W é o vetor linha dos benefícios econômicos diretos dos coeficientes de uso da água; $Z = Z_j$ é o vetor de linha de valor agregado direto e $(W)^{-1} = W_j$ é a diagonal da matriz inversa de uso direto e indireto da água.

O retorno econômico total do coeficiente de uso da água é projetado para capturar os efeitos diretos e indiretos da mudança no uso da água do setor j sobre o valor agregado total criado na economia na totalidade.

2.3.5 Consumo intermediário intersetorial

O consumo intermediário entre as atividades econômicas foi estimado utilizando indicadores extraídos da Tabela de Recursos e Usos do Ceará – 2013 (IPECE, 2018b) por meio da aplicação de coeficientes técnicos de consumo de água para cada produto elencado na Matriz Insumo-Produto do estado do Ceará – 2013, conforme descrição matemática expressa abaixo:

$$T^i = AT^i + Y = (I - A)^{-1}Y \quad (19)$$

$$T_d = WT^i + Y_w \quad (20)$$

Substituindo-se o valor de T^i na equação 20:

$$T_d = W(I - A)^{-1}Y + Y_w \quad (21)$$

Em que, T^i , representa a Tabela de Recursos e Usos de consumo intermediário tradicional; A representa o vetor de coeficientes técnicos diretos dos insumos; Y representa o vetor de demanda intermediária final por água; Y_w representa o vetor de demanda intermediária por água; T_d representa a Tabela de Recursos e Usos de consumo intermediário da água, na qual cada elemento dw_j especifica a quantidade de água usada na produção total do setor j ; W representa a matriz de coeficientes técnicos de consumo direto de água, na qual cada elemento w_{kj} corresponde à quantidade de água necessária à produção de uma unidade monetária pelo setor j ; e $W(I-A)^{-1}$ representa a matriz de coeficientes técnicos diretos e indiretos da água ou matriz de requerimentos intermediários de água.

Cada elemento desta matriz reflete o quanto o setor j necessita, direta e indiretamente, do insumo água, para satisfazer a uma demanda de uma unidade monetária. E a soma das suas linhas fornece o consumo intermediário total da água por setor para atender às

mudanças na sua demanda intermediária final, ou seja, o quanto cada setor irá requerer indiretamente do insumo água, de si próprio e dos demais setores da economia.

Esta metodologia proporcionou a mensuração do consumo indireto (MCI) de água por unidade monetária gerada pela produção de bens e serviços em cada setor. Wang (2016), afirma que o modelo de Leontief considera o encadeamento entre os setores econômicos regionais, refletindo quanto determinado setor pode gerar em termos de consumo intermediário na produção total de outros setores na economia. Com isso, a aplicação do modelo insumo-produto desperta uma especial atenção aos setores que apresentam um maior efeito de encadeamento entre os setores da economia do Ceará.

2.4 Resultados e discussão

Os resultados obtidos com o modelo Insumo-Produto regional aplicado a recursos hídricos descrevem de forma quantitativa o consumo da água de forma direta e indireta pelos setores da agropecuária, indústria e serviços. Para a análise foram considerados 32 atividades e 58 produtos.

2.4.1 Consumo de água entre os setores econômicos do Ceará

Conforme a Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE), o consumo direto de água pelos setores econômicos do estado do Ceará soma um volume de água demandada na ordem de 1,33 trilhões de m³. Entre estes setores, a agropecuária apresenta o maior consumo direto de água bruta com 62,08% (826.740.891m³), sendo que o setor de serviços responde por 30,50% (406.129.808m³) da demanda total de água no estado do Ceará, seguido pela indústria que consome apenas 7,42% (98.816.204m³) (Tabelas 1, 2 e 3).

Ressalta-se que em 2013, a estrutura econômica do Ceará era baseada principalmente no setor de serviços, o qual representava 74,5% do Valor Adicionado Bruto Total do Estado. O setor de serviços do Ceará destaca-se pelo desenvolvimento de atividades ligadas ao Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas, Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social, Atividades Imobiliárias e Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares. Quanto aos setores da indústria e agropecuário, estes participam com 20,4% e 5,1% do Valor Adicionado Bruto Total do Ceará, respectivamente (IPECE, 2022) (Anexo A).

Conforme as Contas Econômicas Ambientais da Água do Brasil de 2018, o setor agropecuário brasileiro responde por 86,7% do uso total de água pelas atividades econômicas

do Brasil, e o setor da Indústria por 11,6%. De modo que a participação do setor agropecuário do Brasil no consumo econômico de água é mais elevada do que a do Estado do Ceará (62,02%), o que pode ser explicado em parte pelo fato de que, em 2013 o estado do Ceará estava atravessando um período de escassez hídrica, o que afetou o desenvolvimento de suas atividades, principalmente as ligadas ao setor agropecuário, e em especial à agricultura irrigada. E a do Brasil é de um ano com chuvas dentro da Normal.

Vale ressaltar que há diferenças na metodologia aplicada entre os sistemas de contabilidade ambiental do Brasil e do Ceará, tendo em vista que o Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Água do Brasil contabilizou somente os setores da agropecuário e da indústria. Já a Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do Ceará trabalhou os três macro setores (agropecuária, indústria e serviços). Fato que interfere nas participações setoriais de consumo de água dentro de suas respectivas estruturas de produção.

Assim como no Brasil, os resultados encontrados em pesquisas realizadas com o uso da matriz insumo-produto na Espanha, identificaram que o setor da agropecuária consome 90,2% da água utilizada entre os seus setores produtivos, e em Marrocos, 87,0%, colocando o setor agropecuário como o maior consumidor de recursos hídricos, indicam o setor agropecuário como o setor que apresenta a maior demanda dentro da estrutura produtiva regional, confirmando o resultado apresentado pela Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do Ceará do Ceará (Boudhar; Boudhar; Ibourk, 2017).

Já na análise do consumo de água pelo setor de serviços, Espanha e Marrocos apresentaram pequenas participações, sendo de 4,6% na Espanha e de 8,0% em Marrocos, sendo que no estado do Ceará o setor de serviços representou 30,5% do consumo total de água nos processos produtivos no estado (Boudhar; Boudhar; Ibourk, 2017; Velázquez, 2006).

2.4.2 Setor agropecuário

O setor agropecuário é formado por atividades econômicas que produzem bens e serviços ligados à agricultura, pecuária, pescado e extrativismo vegetal. Estas atividades, em geral, consomem essencialmente água bruta em seus processos produtivos (Tabela 1).

Tabela 1 - Consumo de recursos hídricos (m³) dos produtos do setor Agropecuário, Ceará – 2013.

Setores econômicos	Consumo de água (m ³)	Dentro do Setor (%)	CE (%)
Ceará	1.331.686.903		
Agropecuária	825.987.938		62,02%
Produção de lavouras temporárias e serviços relacionados	228.880.174	27,68%	
Produtos lavouras permanentes	218.329.587	26,41%	
Bovinos vivos	28.147.579	3,40%	
Leite de vaca e de outros animais	13.951.741	1,69%	
Aves	79.302.197	9,59%	
Ovos de galinha e de outras aves	25.646.112	3,10%	
Pesca e aquicultura	223.426.293	27,02%	
Outros animais vivos e produtos animais	7.810.077	0,94%	
Produtos da exploração florestal e serviços de apoio	1.247.132	0,15%	

Fonte: Elaborado pelo autores (2023).

A agricultura cearense nas últimas décadas tem passado por profundas transformações, marcada pela diversificação de seus produtos e modernização de suas estruturas produtivas, reduzindo a dependência dos produtos tradicionais, e se tornando um setor mais integrado aos setores da indústria e serviços. Essa modernização é comprovada pelo aumento do número de polos de irrigação no estado, distribuídos em 07 (sete) principais áreas de produção: Araras Norte, Baixo Acaraú, Curu Paraipaba, Jaguaribe Apodi, Tabuleiro de Russas, Serra da Ibiapaba e Região do Cariri.

Observa-se na Tabela 1, que as atividades da agropecuária que consomem maior volume de água são lavouras temporárias (27,68%) e pesca e aquicultura (27,02%), seguidos pela produção de lavouras permanentes (26,41%).

O volume de água consumido pela agricultura pode ser explicado pelo aumento na demanda de alimentos, ocasionado pelo aumento da população cearense. Ressaltando que, de 1991 para 2021, a população do Ceará passou de 6.366.647 habitantes em 1991 para 9.240.580 habitantes em 2021, representando um aumento de 45,1% da população do estado. Sendo que o crescimento populacional do estado entre 2017 e 2018 foi de 0,63%, que em números absolutos significou um incremento de 57.662 habitantes (IPECE, 2018b; IBGE, 2021).

De forma que esse aumento populacional gera uma maior pressão de consumo de alimentos, bens e serviços na economia, provocando com isso um maior consumo de água por parte dos setores econômicos que utilizam a água como insumo em seus sistemas de produção.

2.4.3 Setor de serviços

De acordo com IBGE (2018c), o setor de serviços é caracterizado por atividades bastante heterogêneas quanto ao porte das empresas, à remuneração média e à intensidade no uso de tecnologias. Nas últimas décadas, o desempenho das atividades que compõem o setor vem se destacando pelo dinamismo e pela crescente participação na produção econômica brasileira e cearense. Na economia cearense, ele se destaca, respondendo por 74,4% em 2013, e de 77,8% em 2019 (IPECE, 2021).

Conforme Tabela 2, o setor de Serviços responde por 30,50% do total da demanda hídrica dos setores econômicos do Ceará, e diferencia-se dos demais setores produtivos enquanto suas atividades têm características eminentemente intangíveis e diversidade da oferta produtiva.

Na Tabela 2 também se observa os principais produtos deste setor que demandam água no Ceará: Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social (79.015.470m³), educação e saúde privados (74.500.253m³), artes, cultura, esporte e recreação, e outras atividades de serviços (52.322.021m³) e Atividades profissionais, científicas e técnicas (46.969.410m³).

Tabela 2 - Consumo de recursos hídricos (m³) dos produtos que compõem o setor de Serviços, Ceará – 2013.

Produtos do setor de Serviços	Consumo de água (m ³)	Dentro do Setor (%)	CE (%)
Total do Ceará	1.331.686.903		
Setor de Serviços	406.129.808		30,50%
Comércio	11.874.727	5,12%	
Reparação de veículos automotores e motocicletas	137.474	0,16%	
Transporte terrestre de carga	315.088	0,18%	
Transporte terrestre de passageiro	248.028	0,21%	
Transporte aquaviário	10.843	0,00%	
Transporte aéreo	596.519	0,79%	
Armazenamento, correio e serviços auxiliares aos transportes	132.317	5,18%	
Serviços de alojamento	1.649.622	0,34%	
Serviços de alimentação	24.229.458	4,98%	
Telecomunicações, TV por assinatura e outros serv. relacionados	19.688.202	4,40%	
Outros serviços de informação	17.570.337	5,65%	
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	25.264.471	5,18%	
Aluguel imputado	20.972.059	3,82%	
Aluguel efetivo e serviços imobiliários	20.588.827	8,18%	
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	46.969.410	10,79%	

Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	79.015.470	16,46%	
Educação e saúde privadas	74.500.253	15,71%	
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	52.322.021	10,79%	
Serviços domésticos	10.065.561	2,06%	

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

2.4.4 Setor da indústria

Entre os anos de 2013 a 2017, o setor industrial tem apresentando uma tendência de desaceleração na economia cearense, perdendo participação no PIB para o setor de serviços, em função da redução do número de empresas e de pessoal ocupado no setor. Mas de 2017 para 2018, o setor industrial do Ceará registrou um ganho de participação de 1,0%, passando de 17,1% para 18,1% sua participação no valor adicionado bruto do estado do Ceará. Durante o ano de 2019, a participação do setor macroeconômico da indústria apresentou uma redução de -1,03 ponto percentual (p.p.) em relação a 2018 (IPECE, 2021).

Em 2018, a indústria de transformação se manteve como principal atividade industrial no estado do Ceará, respondendo por 51,26% do valor adicionado de todo o setor em 2018. Embora ainda ocupe o posto de principal atividade industrial, esta acumulou uma retração de -19,8%, na comparação entre os anos de 2018 e 2010. Resultado que foi influenciado pelos reflexos da greve dos caminhoneiros e seus desdobramentos sobre o segmento, que alteraram as condições de oferta e limitaram a sua capacidade de expansão no ano de 2018.

Tabela 3 - Consumo de recursos hídricos (m³) dos produtos do setor da Indústria, Ceará – 2013.

Produtos dos setores da Indústria	Consumo de água (m ³)	Dentro do Setor (%)	CE (%)
Total do Ceará	1.331.686.903		
Setor da Indústria	99.548.278		7,48%
Indústrias extrativas	18.318.041	18,40%	
Fabricação de produtos alimentícios	8.461.287	8,50%	
Fabricação de bebidas	11.405.999	11,46%	
Produtos têxteis	7.518.265	7,55%	
Artigos do vestuário e acessórios	12.821.455	12,88%	
Calçados e artefatos de couro	22.748.695	22,85%	
Produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel	1.854.557	1,86%	
Serviços de impressão e reprodução	335.055	0,34%	
Produtos derivados do petróleo e coque	1.061.480	1,07%	
Etanol e outros biocombustíveis	73.164	0,07%	
Fabricação de produtos químicos	429.059	0,43%	
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	26.668	0,03%	

Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	77.086	0,08%	
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	1.888.836	1,90%	
Metalurgia	1.552.960	1,56%	
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	298.077	0,30%	
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	6.301	0,01%	
Fabricação de máquinas e equipamentos	115.256	0,12%	
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	44.117	0,04%	
Produtos do fumo	747	0,00%	
Móveis e produtos diversos	361.138	0,36%	
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	93.900	0,09%	
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	3.895.336	3,91%	
Construção	6.160.798	6,19%	

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Em 2019, dentre as atividades que compõem o setor da indústria (Tabela 3), a mais importante é a Indústria de Transformação, com uma participação de 8,67% no Valor Adicionado Bruto do Ceará, seguida pelas atividades da Construção Civil (4,23%), Produção e Distribuição de Eletricidade, Gás, Água, Esgoto e Limpeza Urbana (Serviços Industriais de Utilidade Pública - SIUP) (3,85%) e Indústria Extrativa (0,30%). No Comparativo do desempenho econômico das atividades industriais do Ceará no ano de 2019 ao ano de 2016, a atividade da Indústria de Transformação foi a que apresentou o maior ganho de participação, 0,46%, enquanto a Construção civil apresentou a maior perda (-2,77 %) (IPECE, 2021).

Conforme Comissão Nacional de Classificação das Atividades Econômicas (CONCLA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021), a indústria de transformação é composta pelas seguintes atividades econômicas: i) Fabricação de Produtos Alimentícios, ii) Fabricação de Bebidas, iii) Fabricação de Produtos do Fumo, iv) Fabricação de Produtos Têxteis, v) Confecção de Artigos do Vestuário e Acessórios, vi) Preparação de Couros e Fabricação de Artefatos de Couro, Artigos para Viagem e Calçados, vii) Fabricação de Produtos de Madeira, viii) Fabricação de Celulose, Papel e Produtos de Papel, ix) Impressão e Reprodução de Gravações, x) Fabricação de Coque, de Produtos Derivados do Petróleo e de Biocombustíveis, xi) Fabricação de Produtos Químicos, xii) Fabricação de Produtos Farmoquímicos E Farmacêuticos, xiii) Fabricação de Produtos de Borracha e de Material Plástico, xiv) Fabricação de Produtos de Minerais Não-Metálicos, xv) Metalurgia, xvi) Fabricação de Produtos de Metal, Exceto Máquinas e Equipamentos, xvii) Fabricação de Equipamentos de Informática, Produtos Eletrônicos e Ópticos, xviii) Fabricação de Máquinas, Aparelhos e Materiais Elétricos, xix) Fabricação de Máquinas e Equipamentos, xx) Fabricação

de Veículos Automotores, Reboques e Carrocerias, xxi) Fabricação de Outros Equipamentos de Transporte, Exceto Veículos Automotores, xxii) Fabricação de Móveis, xxiii) Fabricação de Produtos Diversos, xxiv) Manutenção, Reparação e Instalação de Máquinas e Equipamentos.

Analisando a demanda de água para a indústria do Ceará, verificou-se que está reflete a dinâmica que o setor apresenta em seus processos industriais associados para a oferta de bens e serviços ao mercado. Em 2013 o setor industrial cearense consumiu 99.548.278m³ de água em seu processo produtivo, tendo como principais produtos de suas atividades econômicas em termos de valor bruto da produção: a construção civil (26,46%), a fabricação de alimentos (14,11%), a Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação (12,54%), calçados e artefatos de couro (8,39%) e artigos do vestuário e acessórios (6,14%).

Pode-se observar na Tabela 2.3 que os principais produtos consumidores de recursos hídricos do setor industrial: Calçados e artefatos de couro (22.748.695m³), Indústrias extrativas (18.318.041m³), Artigos do vestuário e acessórios (12.821.455m³), Fabricação de bebidas (11.405.999m³), Fabricação de produtos alimentícios (8.461.287m³), Produtos têxteis (7.518.265m³), produtos estes com inserção internacional. Ressalta-se que estas atividades responderam por 53,98% do valor bruto da produção industrial do Ceará em 2013.

No Ceará, as atividades industriais estão mais concentradas na Região Metropolitana de Fortaleza, com uma participação industrial relativa superior as demais regiões dos estados, respondendo por 73,85% da produção industrial do estado em 2019, tendo em vista que a mesma possui condições favoráveis de disponibilidade de mão de obra qualificada e infraestrutura logística, abrigando assim, importantes distritos industriais onde o uso da água tende a ser intensivo e diversificado. (IPECE, 2021)

A indústria cearense se caracteriza pela produção de bens de consumo não duráveis, com menor valor agregado, como calçados, tecidos, vestuário e bebidas. Tal característica tende a tornar o parque fabril do estado mais sensível às oscilações no poder de compra das famílias, aumento nos níveis de desemprego, redução da massa salarial, alta inflação, restrições de crédito às famílias, expectativas ruins por parte do consumidor são aspectos conjunturais que afetam com força relativamente maior o desempenho da indústria de transformação cearense, reduzindo sua produção. Os anos de 2015 a 2018 ilustram esta realidade.

No ano de 2013, destaca-se que a recuperação de atividades tradicionais da indústria local, como calçados e artigos de couro e têxtil, teve uma contribuição de uma conjuntura

interna favorável e por uma taxa de câmbio que estimulou as exportações e dificultou a entrada de bens industrializados de outros países, em função da desvalorização da moeda nacional.

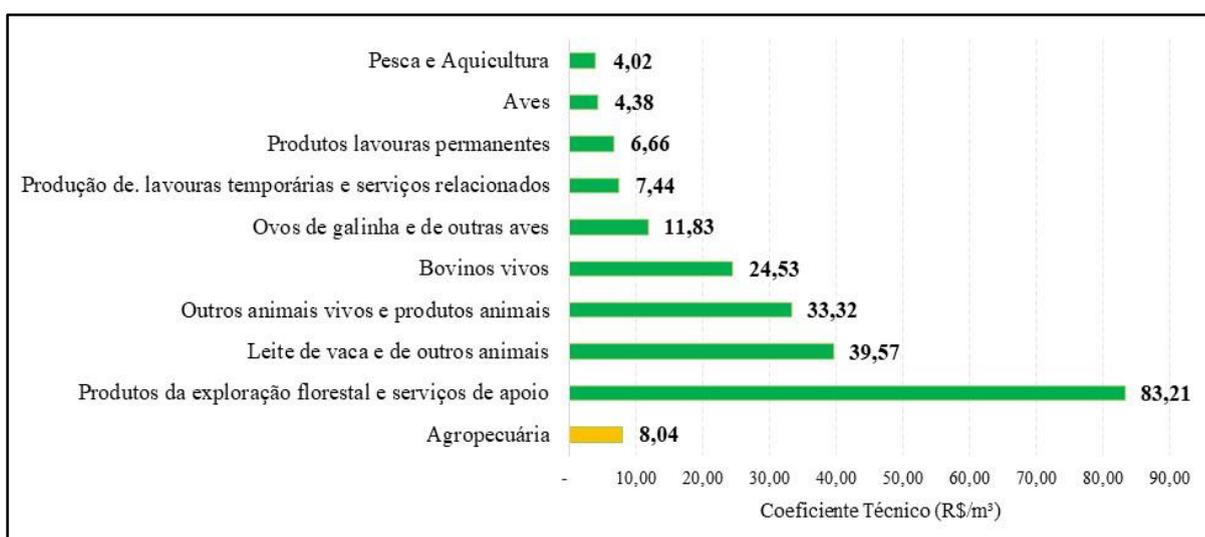
2.4.5 Benefícios econômicos do uso da água dos produtos por setor econômico do estado do Ceará

O termo “produtividade da água” é usado exclusivamente para designar a quantidade ou valor do produto em relação ao volume, ou valor gerado pelo uso da água nos processos produtivos, fazendo referência à quantidade de produto ou valor monetário por unidade de água (m^3).

Ao analisar os coeficientes dos usos de água entre os produtos gerados pelos setores econômicos do Ceará, percebe-se que os maiores valores médios estão relacionados a indústria ($R\$573,94/m^3$), seguida pelo setor de serviços ($R\$249,89/m^3$) e agropecuária ($R\$8,04/m^3$). Sendo que o pequeno valor gerado pelo setor agropecuário, em termos de valor bruto da produção, se deve ao fato de as atividades ligadas a este setor consumirem um maior volume de água (Figuras 3, 4 e 5).

As Figuras 3, 4 e 5 expõem os coeficientes técnicos ($R\$/m^3$) de consumos da água dos produtos da agropecuária, indústria e serviços, respectivamente.

Figura 3 - Coeficientes técnicos ($R\$/m^3$) do uso da Água ($R\$/m^3$) dos produtos do setor Agropecuário, Ceará – 2013



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

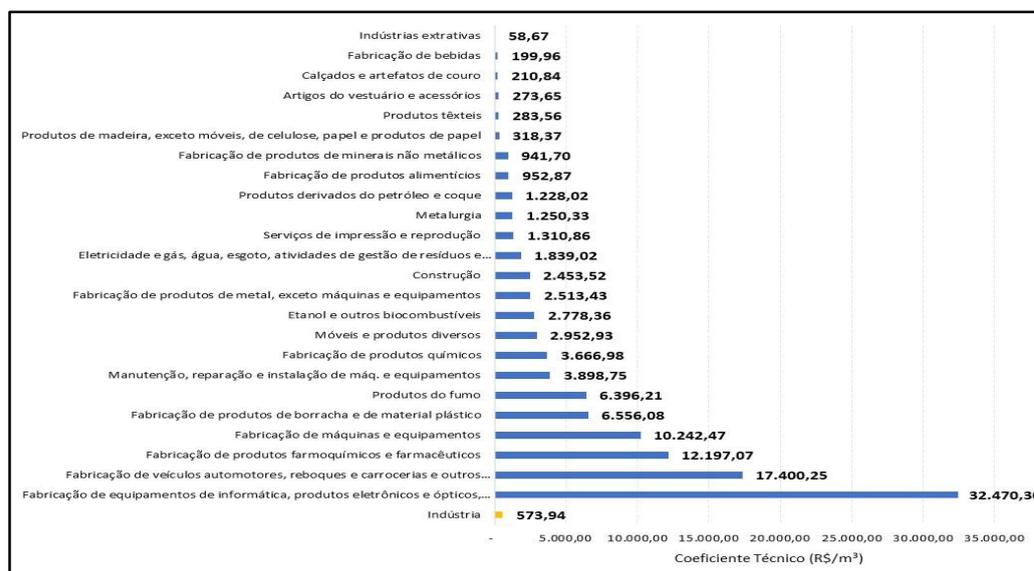
Em uma análise setorial, verificou-se que o setor agropecuário do Ceará foi o que apresentou os menores coeficientes técnicos ($R\$/m^3$) do uso da Água por produtos em termos de valor bruto da produção ($R\$$) gerado para cada m^3 , com destaque para a produção de pescado, seguida pela criação de aves de corte e produção de ovos. Apesar disso, este setor destaca-se

por apresentar o maior consumo direto. Destaca-se que este retorno econômico do uso da água gerado pelo setor agropecuário do Ceará está próximo ao obtido pelo setor agropecuário do Brasil, o qual foi de R\$9,60/m³ para o ano de 2018, R\$8,72/m³ para o ano de 2019 e R\$12,76/m³ para o ano de 2020, conforme estudo das Contas Econômicas Ambientais da Água realizado pelo IBGE (IBGE, 2023).

Conforme estudo realizado por Zhang *et al.* (2011), na região de Beijing na China, o setor da agropecuária gerou um benefício econômico de R\$7,27/m³, valor este próximo ao observado no estado do Ceará (R\$8,04). Já os benefícios econômicos gerados pelo setor da indústria nesta região foram de R\$166,01/m³ e os de serviços de R\$345,36/m³. Boudhar, Boudhar e Ibourk (2017) apontaram que o setor agropecuário gerou R\$2,68/m³, e a indústria e serviços geraram R\$204,40/m³ e R\$99,45/m³, respectivamente.

Entre as atividades que compõem o setor industrial do estado do Ceará, as que obtiveram um melhor benefício econômico no uso da água, medido em termos de R\$/m³, foram: Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (R\$32.470,30/m³), Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte (R\$17.400,25/m³), Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos (R\$12.197,07/m³), Fabricação de máquinas e equipamentos (R\$10.242,47/m³) e Fabricação de produtos de borracha e de material plástico (R\$6.556,08/m³) (Figura 4).

Figura 4 - Coeficiente técnico de Consumo de água (R\$/m³) dos produtos do setor da Indústria, Ceará.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

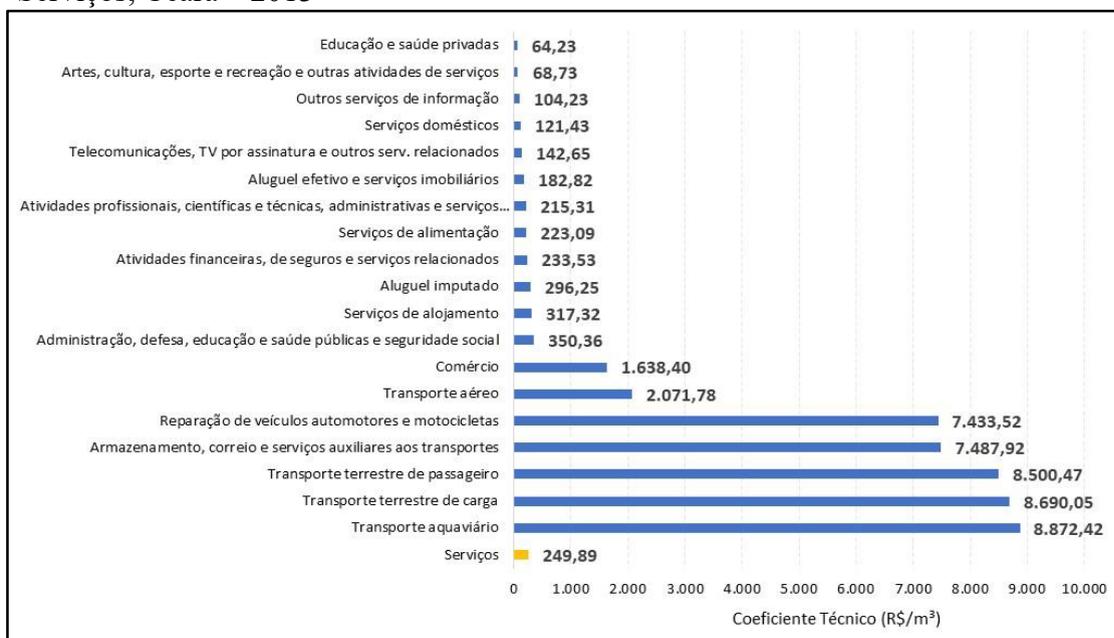
No que se refere ao valor agregado do uso da água pelas atividades econômicas que compõem o setor da indústria do Brasil em 2018, podemos observar que o valor agregado das indústrias extrativas, que foi da ordem de R\$ 636,04/m³, sendo este um valor bem superior ao observado no Ceará (R\$58,67/m³). Tendo em vista, a Indústria extrativa mineral está entre as principais atividades econômicas do Brasil, dada sua importância na balança comercial, onde o minério de ferro é o produto que concentra mais de 60% da produção setor, bem como 91% das exportações de minério, o que torna o País o segundo maior produtor mundial do minério, o que lhe confere um maior valor por m³ de água. Cabe ressaltar que o valor agregado pode variar de acordo com diversos fatores, como eficiência produtiva, tecnologia utilizada, preço de mercado, entre outros (Moura *et al.*, 2018; IBGE, 2023).

Wang *et al.* (2016) indicaram que o maior valor agregado por m³ observados no setor da indústria na China, foram: Produção e fornecimento de energia elétrica a partir de usinas de carvão mineral (R\$3.868,00/m³), Confecção de vestuário e produtos de couro, celulose, papel, produtos de papel, impressão e publicação (R\$1.934,00/m³) e Fabricação de Máquinas e equipamentos elétricos (R\$1.934,00/m³). Já as atividades com menor valor agregado foram: Produtos minerais não metálicos (R\$386,80/m³), Coque e produtos refinados de petróleo e combustível nuclear (R\$128,93/m³) e indústria terciária (R\$35,81/m³).

Já Setlhogile, Arntzen e Pule (2016), ao analisarem o valor econômica da água e seus usos entre os produtos gerados pelos setores econômicos de Botswana para o período de 2010/11 a 2014/15, utilizando o Sistema de Contabilidade Econômica Ambiental das Nações Unidas para recursos hídricos, constatou que os produtos pertencentes ao setor da indústria apresentaram os seguintes benefícios econômicos por cada m³ de água: Indústria de transformação (R\$648,97/m³), Extrativa Mineral (R\$84,95/m³), Fornecimento de água (R\$76,96/m³).

No que se refere ao setor de serviços, as atividades com maiores produtividades da água no Ceará, medida em termos de R\$/m³, foram: Transporte aquaviário, Transporte terrestre de carga, Transporte terrestre de passageiro, Reparação de veículos automotores e motocicletas, e Comércio (Figura 5).

Figura 5 - Coeficiente técnico de Consumo de água (R\$/m³) dos produtos do setor de Serviços, Ceará – 2013



Fonte: Elaborada pelos autores (2023)

Na província de Hebei na China, Liu *et al.* (2017), analisaram o uso da água no setor urbano e encontram as seguintes relações de valor econômico por m³ de água para as atividades econômicas que compõem o setor de serviços: Setor Imobiliário (R\$487,15/m³), Comércio Atacadista e Varejista (R\$393,09/m³), Intermediação Financeira (R\$282,13/m³), Serviços de comunicação e Informática (R\$239,95), sendo estes os produtos que obtiveram maior retorno econômico. Já os produtos com menor retorno econômico por “m³” de água foram: Hotéis e Serviços de Aluguel (R\$132,06/m³), Serviços Domésticos (R\$118,36/m³) e Educação (R\$105,77/m³).

Ressalta-se que os valores gerados como benefícios econômicos por cada “m³” de água consumida nos setores econômicos de cada uma destas regiões, estão relacionadas com o valor agregado de cada produto, nível tecnológico empregado e com o nível de produtividade das atividades que compõem cada setor econômico, associados às condições socioeconômicas aderentes a estrutura de produção e ao modelo de desenvolvimento econômico regional, pois estes estão diretamente relacionados com o consumo de água na região (Distefano; Riccaboni; Marin, 2018).

2.4.6 Consumo indireto intersetorial

Boudhar *et al.* (2017) destacam a importância de considerar não apenas o uso direto da água, mas também o uso indireto da água pela estrutura econômica regional na definição de políticas de recursos hídricos. Ela sugere que as atividades econômicas com altos coeficientes

de uso indireto da água têm uma influência significativa sobre a demanda de recursos hídricos, por meio de um "efeito de arrasto para frente e para trás", considerando, os impactos, as interconexões e os efeitos entre os diversos setores que dependem desse recurso.

De modo, que a observância da interdependência do uso indireto da água na produção de bens e serviços, está em linha com a perspectiva de que uma gestão sustentável da água, tendo em vista que essa abordagem pode ajudar a identificar os setores econômicos que exercem maior pressão sobre os recursos hídricos, portanto, orientar a alocação eficiente da água.

A contabilidade do consumo indireto intersetorial possibilita inferir com mais detalhe como os setores econômicos estão relacionados quanto ao uso da água na economia cearense, identificando tanto o consumo no próprio setor como o consumo intersetorial, devido à compra ou venda de insumos para o processo produtivo.

Este consumo foi analisado em duas dimensões. A primeira considerando apenas a oferta e demanda de produtos domésticos a preço básico e a segunda, considerando todos os usos de bens e serviços, incluindo bens e serviços importados pela estrutura econômica do Ceará, de outros estados e de outros países, conforme Matriz Insumo-Produto de 2013.

Verificou-se que para o consumo intermediário, considerando apenas a Oferta e Demanda de Produtos Domésticos, foi de 193.471.666m³. O que representa 14,5% da demanda total de água pela estrutura econômica do Ceará. Tendo as seguintes participações dos setores da agropecuária (19,37%), indústria (12,95%) e de serviços (67,68%). Tendo, portanto, o setor de serviços como principal setor demandante de água virtual de forma indireta, observando somente a oferta e demanda de produtos domésticos seus processos produtivos. Ressalta-se que o setor agropecuário transfere água virtual para o setor de serviços por meio de uma forte ligação com os serviços de alojamento e alimentação, e que as famílias exercem uma grande pressão sobre o consumo intermediário de todos os setores macroeconômicos, principalmente no setor de serviços (Apêndice B).

Já a análise do consumo indireto de água virtual observando todos os usos de bens e serviços na economia do estado do Ceará, mostrou que a contabilidade da demanda hídrica incorporada pelo consumo intermediário de bens e serviços na forma de insumo nos sistemas de produção dos setores macroeconômicos da agropecuária, indústria e serviços, indica um consumo indireto da ordem de 453.523.508m³ (Apêndice C), representando 34,1% da demanda total de água pela estrutura econômica do Ceará. Sendo este, 2,3 vezes maior do que o

observado pela Oferta e Demanda de Produtos Domésticos. Indicando que o consumo intermediário total de água virtual sobre grande influência de produtos importados de outros estados e de outros países.

As seguintes participações setoriais no consumo indireto de água virtual foram identificadas para todos os usos de bens e serviços na economia do estado do Ceará: i) setor agropecuário (9,16%), setor da indústria (82,11%) e setor de serviços (8,73%). Indicando, portanto, o setor da Indústria é o principal setor demandante de recursos hídricos de forma indireta por meio da aquisição de insumos para seus sistemas de produção (Apêndice C).

O setor da indústria apresenta uma ligação intersetorial mais forte com o setor agropecuário. De forma que 94,40% da água virtual consumida pela indústria na forma de insumo é proveniente do setor agropecuário. Já quanto ao restante do consumo intermediário de água virtual da indústria, 5,47% é proveniente das atividades da própria indústria e 0,17% vem do setor de serviços.

Os produtos industriais que mais transferem água virtual de forma indireta são: i) Produtos alimentícios, ii) Produtos têxteis e os iii) Produtos da indústria química. Já entre as principais atividades que fornecem água virtual na forma de insumo para a indústria, são: produção de milho, produção de outros cereais, algodão herbáceo e outras fibras das lavouras temporárias, pesca e aquicultura, indústria de produtos têxtil (Apêndice C).

De forma que o consumo indireto do setor da indústria, avaliado pela ótica dos Usos de Bens e Serviços, que inclui as importações de bens e serviços com outros estados e países, mostrou uma maior dinâmica quanto ao uso de água virtual contabilizada pelo consumo intermediário gerado pelo próprio setor como pela sua interação com os demais setores.

Nesta análise intersetorial do consumo indireto de água, verificou-se que 53,72% da água utilizada pelo setor da agropecuária em seus processos produtivos finais na forma de insumo é oriunda do setor da indústria e que 46,04% vem do próprio setor, e apenas 0,24% é resultante da compra de insumos do setor de serviços. Quanto ao setor de serviços, a maioria de seu consumo indireto de água vem do próprio setor (41,14%), 38,09% vem da agropecuária e 20,78% da indústria (Apêndice C).

Conforme os resultados obtidos por meio da Matriz Insumo-Produto, verificou-se que 42,50% do consumo direto de água do setor agropecuário do Ceará flui para o setor da indústria na forma de insumos, por meio, principalmente, dos seguintes produtos: i) milho e outros cereais, ii) aves, iii) leite, iv) bovinos, etc., produtos estes demandados pelas atividades

da indústria de transformação para a fabricação de produtos alimentícios, fabricação de bebidas, fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro. Gerando assim, um efeito de encadeamento intersetorial em termos de demanda hídrica na estrutura econômica do estado.

Assim, os resultados obtidos pela aplicação da Matriz Insumo-Produto para estimar a demanda hídrica da estrutura econômica do Ceará indicam que a demanda hídrica indireta desempenha um papel significativo na economia do Estado, portanto, deve ser integrada como um fator de decisão para orientar as ações e políticas de gestão hídrica, e para a avaliação da sustentabilidade do abastecimento de água do Estado.

Isso implica que não basta apenas analisar o consumo direto de água pelas atividades produtivas, mas também compreender os efeitos indiretos que impactam o sistema de abastecimento de água para a estrutura econômica regional.

Dentre os 428 setores mapeados pela Matriz Insumo-Produto dos Estados Unidos, 96% destes setores usam mais água na forma indireta em suas cadeias produtivas. Esse elevado consumo indireto de água por estas atividades, está ligada ao fato de que estas possuem um alto nível de interconectividade com outras atividades econômicas que são tanto compradoras como fornecedoras de bens e serviços utilizados em seus processos produtivos, como a indústria de transformação de alimentos e bebidas, onde o consumo indireto de água representa 30% do consumo total destas atividades (Blackhurst; Hendrickson; Vidal, 2010).

Analisando o uso indireto de água entre os produtos das atividades econômicas dos Estados Unidos, observou-se que o setor agropecuário e o setor de geração e fornecimento de energia são responsáveis por 90% do consumo total de água, sendo que deste total, 60% corresponde ao consumo indireto, ou seja, o consumo de água “incorporado” na forma de insumos consumidos por estas atividades econômicas (Blackhurst; Hendrickson; Vidal, 2010).

Desta forma, em termos de governabilidade da água, a análise do consumo indireto de recursos hídricos pelas atividades econômicas representa um mecanismo de gestão e planejamento orientado a segurança hídrica devido ao crescimento econômico regional, pois, permite dimensionar a demanda hídrica intersetorial por água. Tendo em vista que esta análise possibilita enxergar e mensurar um componente oculto do uso total de água nos processos produtivos, permitindo uma melhor identificação dos fluxos de água intersetoriais, principalmente quanto a escala e forma com que o consumo intermediário de água se dá entre e dentro das atividades econômicas (Wang *et al.*, 2016).

Nesse sentido, o consumo indireto representa uma parte significativa do consumo de água no estado demonstrando que o Ceará, apesar de estar situado em uma região semiárida com escassez hídrica, possui uma estrutura econômica baseada em setores que demandam grandes volumes de água.

Portanto, análises limitadas apenas no uso direto da água de cada setor geram conclusões errôneas, tendo em vista que esses setores consomem indiretamente uma quantidade de água suficientemente importante para ameaçar a sustentabilidade do abastecimento de água no estado.

2.4.7 Relações entre o consumo de água, o valor da produção e a ocupação setorial

Analisando a relação entre o valor bruto da produção e o nível de ocupação das atividades econômicas quanto ao uso da água, observa-se que o setor da agropecuária é o que tem um maior consumo de água (62,08%) e o que gera o menor valor bruto da produção (5,85%) entre os setores econômicos, impactando diretamente na produtividade da água em termos de valor bruto por m³ de água, apresentando o menor valor gerado entre os setores (R\$8,04/m³).

Ao avaliar a relação entre o volume de água consumido e o nível de ocupação na agropecuária, percebe-se que este setor necessita de um maior volume de água para gerar uma ocupação (879,96m³/pessoa ocupada), quando comparado aos setores da indústria (141,35m³/pessoa ocupada) e de serviços (475,74m³/pessoa ocupada).

Apesar de o setor agropecuário apresentar baixos níveis de produtividade no uso da água para geração de emprego e renda, este é um setor importante para o desenvolvimento econômico do estado, tendo em vista que o mesmo está ligado à segurança alimentar da população rural, por ser um setor que possui uma alta integração com os demais setores e por estar distribuído em todo o território do estado do Ceará, atuando em comunidades difusas, onde as atividades industriais e de serviços são menos exploradas, já que estas estão mais concentradas nos maiores centros urbanos, como, por exemplo, nas Regiões Metropolitanas de Fortaleza, Sobral e Cariri.

2.5 Conclusão

O estudo consistiu em redefinir o modelo clássico de Insumo-Produto, a fim de integrar as informações econômicas fornecidas por este modelo com informações hidrológicas sobre o uso direto e indireto de água nos setores econômicos: agropecuária, indústria e serviços, verificando as relações estabelecidas entre a estrutura econômica e os recursos hídricos e as relações intersetoriais de uso da água, possibilitando a análise quanto às restrições econômicas

e previsibilidade no tocante a demanda do recurso hídrico pelos setores econômicos.

Baseado nas informações setoriais, verificou-se que o setor agropecuário apresentou um uso direto da água maior do que os demais setores. Destacando que o setor de serviços superou a demanda hídrica da indústria, tendo em vista que o setor de serviços respondeu por 76,7% do Valor Adicionado Bruto do Estado do Ceará em 2018, e que este possui uma tendência de expansão das atividades econômicas, gerando com isso maior pressão sobre os recursos hídricos disponíveis no estado.

Quanto ao setor agropecuário, o modelo insumo-produto apontou que seus produtos demandam 62,08% do total de recursos hídricos consumidos pela estrutura econômica do Ceará, e que este responde por apenas 5,85% do Valor Adicionado Bruto do Ceará. O que pode ser explicado pelo fato de que há uma forte variação no benefício econômico gerado por cada m³ de água utilizado entre os três setores, sendo o setor agropecuário, o que possui um menor retorno econômico no uso da água em seus sistemas de produção entre os três Macro Setores da economia regional do estado.

Por outro lado, o setor da indústria apresenta um baixo uso direto dos recursos hídricos (7,42%), sendo também o setor com melhor benefício econômico gerado pelo uso da água medido em termos de R\$/m³, sendo: Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (R\$32.470,30/m³), Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte (R\$17.400,25/m³), Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos (R\$12.197,07/m³), sendo estes os produtos que obtiveram os mais elevados níveis de produtividade no setor da indústria.

De forma geral, a análise dos usos diretos e indiretos da água ao nível setorial revela que, por um lado, o setor de agricultura, pecuária, pesca e extrativa vegetal exibe alto uso direto da água, consumindo 62,08% dos recursos hídricos de forma direta, no entanto, quando se avalia seu uso indireto, este representa apenas 9,16%.

Quanto ao setor da indústria, este mostrou possuir um elevado consumo indireto de água (82,11%), oriundo principalmente do setor agropecuário, que destina 42,50% do consumo direto de água para o setor da indústria, na forma de insumos para as atividades econômicas da indústria de transformação para a fabricação de produtos alimentícios, fabricação de bebidas, fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro. Gerando assim, um efeito de encadeamento intersetorial em termos de demanda hídrica na estrutura econômica do estado.

De forma que a análise Insumo-Produto aplicada aos Recursos Hídricos é importante para a quantificação e qualificação, tanto do consumo direto como indireto de água em uma perspectiva econômica no processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos regionais, permitindo uma análise conjunta destas duas dimensões (economia e água) em um cenário de escassez estrutural, (in)segurança hídrica e de restrições econômicas, em que o estado do Ceará está envolvido.

Entre as limitações do modelo Insumo-produto, está no fato de este concentrasse na análise estática da estrutura econômica regional em um determinado ponto do tempo, sem incorporar medidas de incerteza sobre a dinâmica do desenvolvimento das atividades produtivas. Não sendo, portanto, indicado para análise de estimativa de demanda hídrica no longo prazo, uma vez que as transformações socioeconômicas e tecnológicas devem modificar o uso dos recursos hídricos entre os setores econômicos.

Outro fator a ser analisado está no processo da estimação dos coeficientes técnicos utilizados pelo modelo Insumo-Produto aplicado a Recursos Hídricos, pois seus cálculos sofrem influência de aspectos como: i) nível tecnológico utilizado pelos setores econômicos, o qual afeta a produtividade setorial e também o consumo de água por estes setores, ii) forças de demanda e oferta de mercado que ditam o preço dos bens e serviços impactando na geração do valor bruto da produção gerado por cada m³ de água consumido e, iii) fatores climáticos, que atuam principalmente sobre o setor agropecuário, fazendo com que este demande um maior ou menor volume de água, dependendo das condições de umidade, temperatura e volume de chuvas ocorridos na região.

Em suma, pode-se dizer que, o modelo Insumo-Produto Regional aplicado aos Recursos Hídricos permitiu uma análise consistente das demandas hídricas geradas por cada setor de produção e de seus benefícios econômicos gerados, constituindo assim, uma ferramenta útil para o planejamento e gestão dos recursos hídricos no estado de forma integrada

3 CONTABILIDADE MACROECONÔMICA DOS RECURSOS HÍDRICOS: UMA ABORDAGEM INSUMO-PRODUTO DOS ENCADEAMENTOS E IMPACTOS NA ECONOMIA DO ESTADO DO CEARÁ, BRASIL

Este trabalho tem como objetivo identificar os principais setores da estrutura econômica, considerando seus fluxos de água virtual, e estimar o impacto de cada setor, destacando características sistêmicas da demanda hídrica dos setores econômicos na economia regional, no intuito de subsidiar estabelecimento de prioridades de uso da água e a avaliação da segurança hídrica. Com base na Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará, utilizamos as seguintes metodologias: os índices Rasmussen e Hirschman para as "ligações para frente e para trás"; multiplicadores gerais de produção, trabalho e renda; e a elasticidade do consumo de água para a demanda final de água. Foram analisados 32 setores econômicos e o consumo das famílias. Por meio do cálculo da elasticidade da demanda final de água, descobrimos que tanto o comércio quanto o consumo doméstico são os setores que exercem maior pressão sobre o consumo de água virtual. Além disso, uma análise conjunta das metodologias aplicadas mostra que: (a) o setor comercial é o mais relevante em termos de ligações para frente e para trás dos fluxos de água virtual, (b) o setor agrícola tem o maior consumo direto de água, e (c) o setor da administração pública tem o maior consumo intermediário de água.

Palavras-chave: Matriz Insumo-Produto; Fluxos de água virtual; Economia regional.

3.1 Introdução

As decisões de alocação de recursos hídricos entre os setores produtivos têm sido amplamente discutidas pelas instituições educacionais e de pesquisa porque influenciam o desenvolvimento econômico regional (FAO, 2017; Martinez-Lagunes, 2017; Soares *et al.*, 2021), principalmente em regiões semiáridas onde a escassez de água e o estresse hídrico afetam tanto a quantidade quanto a qualidade da água disponível (Expósito *et al.*, 2020).

A escassez de água, e eventos climáticos extremos que acentuam seus efeitos aumentam a concorrência por recursos hídricos entre seus usuários, e geram impactos negativos tanto no âmbito social quanto no econômico, além de limitar o processo de alocação de água para a produção de bens e serviços, podendo até mesmo restringir o nível de produção de diversos setores econômicos (Dinesh; Kumar, 2017). Isso porque a maioria dos setores econômicos são sensíveis ao déficit hídrico em diferentes estágios de produção.

Nesse sentido, de acordo com (Pfister *et al.*, 2017) a escassez de água molda a capacidade de resposta de seus usuários, e é necessária uma compreensão mais profunda de suas interações e dos estímulos correspondentes aos setores econômicos, por meio dos quais o conhecimento do consumo de água setorial e intersetorial na estrutura produtiva regional pode gerar critérios úteis para o planejamento e gestão dos recursos hídricos nas regiões semiáridas, tornando mais clara a percepção de seus múltiplos usos.

Portanto, a alocação de recursos hídricos está associada à gestão da oferta, demanda e de conflitos. Esses são pilares relevantes no processo de tomada de decisão dos gestores de recursos hídricos, incluindo a análise da capacidade de apoio regional que considera a disponibilidade de água e seus múltiplos usos para evitar uma situação de escassez.

De acordo com Deng *et al.* (2020) e Cámara e Llop (2021), regiões com problemas de escassez de água devem buscar uma melhor compreensão da demanda, sabendo que o uso da água é na maioria afetado pelos seguintes fatores: desenvolvimento econômico, processo rápido de urbanização, mudanças no estilo de vida e consumo das pessoas, mudanças climáticas e crescimento populacional. Este último pressiona os sistemas de produção, aumentando o consumo de bens e serviços, que utilizam muitas vezes recursos hídricos intensamente.

Portanto, o reconhecimento da demanda por água como fator de produção entre os diversos setores econômicos permitirá uma melhor associação entre as forças de oferta e demanda em regiões com problemas de escassez, além de melhorar a gestão de conflitos em relação à sua alocação, incluindo a análise da capacidade de apoio regional ao considerar a disponibilidade de água e seus múltiplos usos para evitar uma situação de perda econômica causada por uma crise hídrica. Esses são pilares relevantes no processo de tomada de decisão dos gestores de recursos hídricos (Liu *et al.*, 2020; Cazcarro; Steenge, 2021).

Nesse sentido, diversos estudos têm concentrado esforços na compreensão da demanda hídrica através das lentes das atividades econômicas. Khadem *et al.* (2021), avaliaram o valor econômico do armazenamento de água e as consequências dessa avaliação para a gestão da água no contexto de futuras secas. Os autores associaram modelos hidroeconômicos a operações históricas de gestão da água em relação aos seus usos. Um modelo de otimização foi apresentado por Li *et al.* (2020), para a alocação de recursos hídricos e agrícolas sob incerteza. Neste estudo os autores analisaram considerações econômicas, ambientais e sociais em um sistema agrícola irrigado. Boudhar *et al.* (2017), realizou uma análise macroeconômica do uso da água utilizando um modelo integrado que combinava engenharia ambiental e economia. Ke *et al.* (2017), construiu um modelo integrado combinando um modelo de otimização multi-

objetivo com análises no fluxo para estudar as trocas entre crescimento econômico, uso da água e proteção ambiental.

O desenvolvimento desses modelos hidroeconômicos proporcionou um melhor conhecimento da demanda por recursos hídricos entre os setores econômicos e suas inter-relações na estrutura produtiva. Que, segundo Expósito *et al.* (2020) e Gao *et al.* (2020), estes podem reduzir as incertezas das previsões associadas ao volume de água alocada aos processos produtivos com base em seu consumo direto e intermediário, além de auxiliar na futura gestão dos recursos hídricos nas regiões semiáridas.

Nesse contexto, o uso da Matriz Insumo-Produto (MIP) permite a identificação e quantificação do uso direto e indireto da água em toda a cadeia de suprimentos. Além disso, o valor monetário do uso da água pode ser expresso na produção de bens e serviços, e em transações econômicas que ocorrem em todos os setores de uma economia. Isso pode ajudar a resolver as interdependências setoriais do uso da água (Kunz *et al.*, 2017; Ma *et al.*, 2019; Eamen *et al.*, 2020).

De acordo com Miller e Blair (2009), o modelo de análise Matriz Insumo-Produto fornece uma estrutura útil para acompanhar o uso de um recurso e seus associados nos setores econômicos e suas inter-relações. Por exemplo, alguns estudos avaliaram a demanda hídrica dos setores econômicos aplicando o modelo de análise Matriz Insumo-Produto à estrutura econômica regional (Setlhogile *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017; Feng *et al.*, 2019; Garcia; Mejia, 2019; Tian *et al.*, 2019).

Outras aplicações dos modelos MIP incluem a identificação dos fluxos de água gerados pelo comércio inter-regional de bens e serviços entre centros de produção e consumo (Velázquez, 2006; Zhang; Anadon, 2014; Bekchanov *et al.*, 2017). Além disso, Distefano *et al.* (2018), examinaram a demanda de água avaliando a decomposição estrutural da economia utilizando a MIP juntamente com a teoria da rede. Estudos anteriores também enfatizaram a análise conjunta do consumo de água e energia como fatores na produção em atividades econômicas em áreas urbanas utilizando um modelo multi-regional de fluxo (Fang *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2021).

Nesses estudos, o modelo Matriz Insumo-Produto está associado ao conceito de água virtual como uma abordagem que visa melhorar o nível de gestão da água, principalmente em áreas com escassez de água (Ren *et al.*, 2020). Esse conceito investiga o volume de água incorporado no processo de produção de bens e serviços de forma direta ou intermediária. O

fluxo de água virtual ocorre entre os diversos setores econômicos por meio de cadeias de suprimentos que acompanham o fluxo de comércio nos mercados local e regional (Bekchanov *et al.*, 2017; Gao *et al.*, 2020; Ruess, 2020).

A abordagem pelo Modelo Insumo-Produto também permite a expressão do valor monetário do uso da água na produção de bens e serviços, possibilitando a maximização do Valor Adicionado Bruto da Produção associada ao consumo de recursos hídricos, e a visualização de interações econômicas que ocorrem em todos os setores de uma economia, a fim de permitir também a medição do valor marginal da água para diferentes usuários (Wang *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2019; Zhai *et al.*, 2019; Lan; Liu, 2019).

Assim, este estudo busca avaliar a estrutura econômica do Estado do Ceará, localizada no Nordeste do Brasil, por meio do uso direto e indireto dos recursos hídricos entre seus setores econômicos. Além de realizar análises setoriais e intersetoriais do impacto econômico do consumo e da troca de recursos hídricos. De forma que o objetivo deste trabalho é qualificar melhor a tipologia do uso da água e quantificar seu retorno econômico para auxiliar na formulação de estratégias pelos tomadores de decisão. Para tal, foi aplicado as seguintes metodologias: Multiplicadores Gerais de Produção, Emprego e Renda; Índices de encadeamento de Rasmussen e Hirschman, e a Elasticidade do Consumo de Água pela Demanda Final.

Os Multiplicadores gerais de Produção, Emprego e Renda estimam o impacto de cada setor econômico em termos de consumo direto de água. Este cálculo permite determinar as relações mais importantes no processo produtivo; ou seja, identificar setores com melhor retorno econômico do uso da água em seus processos produtivos, medindo assim o impacto do consumo setorial de água na estrutura econômica regional.

Os Índices de Rasmussen e Hirschman sobre "ligações para frente e para trás" revelam os setores com maior poder para propagar o consumo indireto de água na economia por meio de sua demanda, e de sua oferta intersetorial de bens e serviços na forma de insumos produtivos utilizados como consumo intermediário. O que possibilita a observação dos efeitos diretos, indiretos e induzidos da demanda por recursos hídricos pelos setores econômicos.

Já no caso da análise da demanda hídrica pela Elasticidade do Consumo de Água pela Demanda Final aponta o setor com maior poder para propagar o impacto dos choques de demanda na estrutura econômica regional, considerando uma variação de 1% na demanda final de água. Esta análise difere das demais, pois considera a demanda hídrica gerada pelo arranjo

da estrutura econômica existente, e verifica como os efeitos dos choques externos e internos sobre a demanda final de água se propagam sobre os setores econômicos.

O uso dessas técnicas de análise intersetorial desenvolvidas por meio do modelo MIP permite estimar o nível de impacto do consumo de água, direta e indiretamente, em cada um dos setores produtivos cearenses de acordo com suas características sistêmicas na economia regional. Assim, esses resultados permitem identificar o uso da água na economia cearense e o estabelecimento de prioridades na tomada de decisão sobre as atividades econômicas.

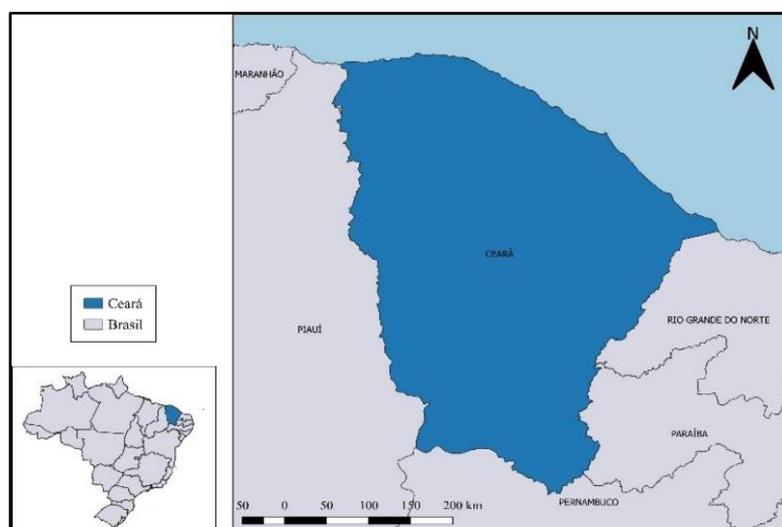
Propomos que essas decisões se baseiam em uma análise conjunta. Isso por a água ser um recurso primário de produção, e seu nível de demanda por atividades econômicas pode afetar a segurança hídrica regional. Por isso, a formulação de políticas públicas voltadas para a alocação de recursos hídricos é importante.

Assim como no Ceará, que possui problemas cada vez mais evidentes de escassez de água, juntamente com as frequentes secas, os quais vem gerando disputas entre os múltiplos usuários associados à agricultura, indústria, consumo urbano e residencial (Kahil et al., 2016), nossas técnicas e procedimentos metodológicos podem ser desenvolvidos e replicados em outras regiões, estados ou países que sofrem com os efeitos da escassez de água. Isso pode ajudar a fortalecer seus sistemas de informação e integrar seus processos de tomada de decisão na gestão dos recursos hídricos.

3.2 Metodologia

3.2.1 Área de estudo

Figura 6 - Localização do Estado do Ceará.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

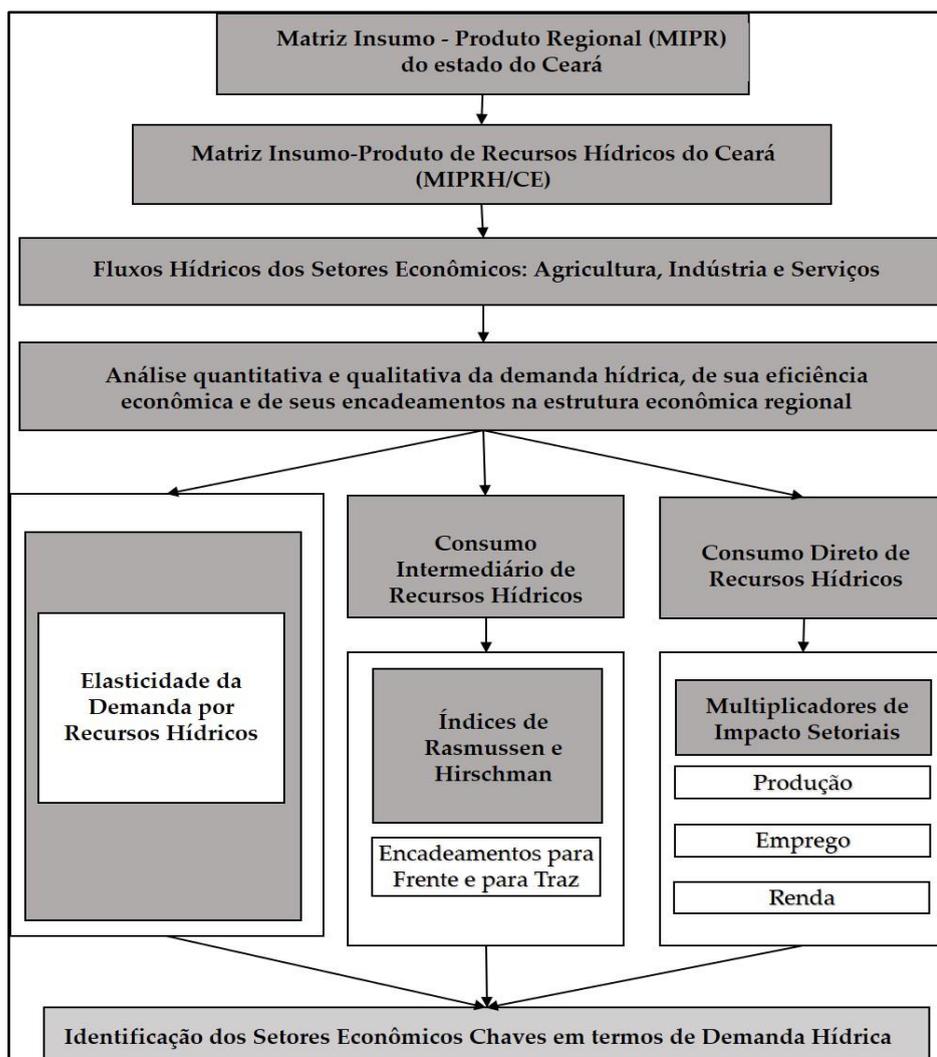
O Estado do Ceará abrange uma área de 148.894,75 km² com população de 9.187.103 habitantes em 2020. Suas fronteiras territoriais se espalharam do Oceano Atlântico ao norte do Estado de Pernambuco, ao sul, dos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba, ao leste, e do estado do Piauí, a oeste (Figura 6). Possui 184 municípios, com 95% localizados no semiárido do Nordeste brasileiro (SUDENE, 2017; IPECE, 2022).

A economia do Estado constituía 2,21% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro em 2019. Ocupou a 12^a posição no país e a 3^a na região Nordeste. Em valores nominais, o PIB do estado atingiu R\$ 163.575 milhões em 2019 (IPECE, 2021).

3.2.2 Estratégia metodológica

A Figura 7 descreve nossa metodologia. Os fluxos de água dos setores econômicos cearenses foram obtidos por meio da Matriz Insumo-Produto (MIP) Regional do Ceará de 2013.

Figura 7 – Estratégia metodológica



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Foram utilizados para analisar as ligações e seus efeitos sobre a economia regional, e identificar os setores-chave através das seguintes ferramentas de análise: (1) Índices de conexão Rasmussen e Hirschman "ligações para trás e para a frente", (2) elasticidade da demanda de recursos hídricos devido à variação da demanda final, e o uso de (3) multiplicadores gerais de produção, emprego, e renda, para avaliar a produtividade da água entre os setores produtivos.

A Matriz Insumo-Produto Regional de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE) foi construída com base no modelo MIP do Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE) para o ano de 2013, considerando 32 setores econômicos, o consumo das famílias e 58 produtos (IPECE, 2018b).

O consumo das famílias refere-se à demanda das famílias por bens e serviços para atender às suas necessidades imediatas, incluindo bens duráveis, mas não envolve a formação de estoque. É importante ressaltar que o consumo das famílias não abrange a compra de imóveis residenciais ou não residenciais, nem a compra de terrenos. O consumo das famílias impacta a economia regional por meio da renda adquirida como empreendedores com a alocação de sua mão-de-obra na produção de bens e serviços não financeiros e de mercado, e eventualmente em serviços financeiros (IPECE, 2018b).

3.2.3 Fontes de dados

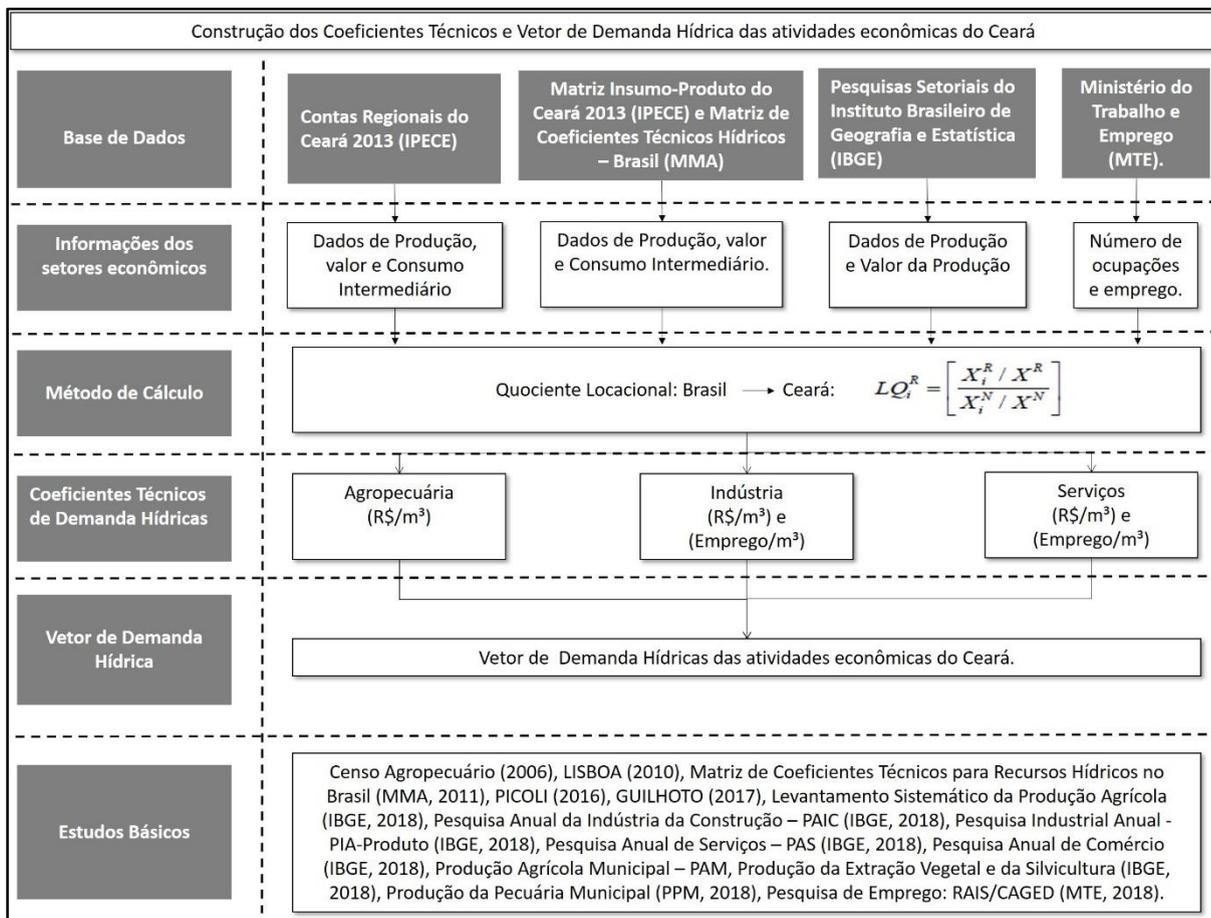
O vetor de consumo de água foi construído com base na aplicação de coeficientes técnicos de consumo de água para cada produto listado na MIPRH/CE de acordo com a tipologia dos setores econômicos pertencentes à agricultura, indústria ou serviços (Figura 8). Após a incorporação das demandas hídricas, a MIPRH/CE é representada conforme observado no Quadro 4.

Quadro 4 - Modelo insumo-produto com a incorporação das demandas hídricas.

		Consumo Intermediário			Demanda Final	Total
		Setores consumidores				
		Setor 1	Setor 2	Setor 3		
Setores Produtivos	Setor 1	Z11	Z12	Z13	Y1	Z1
	Setor 2	Z21	Z22	Z23	Y2	Z2
	Setor 3	Z31	Z32	Z33	Y3	Z3
Insumo Água		Dw1	Dw2	Dw3	Yw	D

Fonte: Lima (2002); Miller; Blair (2009).

Figura 8 - Metodologia da construção de coeficientes técnicos e vetor da demanda hídrica nas atividades econômicas do Ceará.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

3.2.4 Multiplicadores gerais de impacto

A análise de multiplicadores gerais é uma abordagem tradicional derivada das matrizes de insumo-produto e um dos primeiros recursos analíticos proporcionados pelo modelo de insumo-produto.

Os multiplicadores gerais permitem avaliar os impactos sobre o sistema econômico, resultantes de choques exógenos. Foram utilizados três tipos de multiplicadores gerais: a) Multiplicador de produção - mede o efeito sobre o produto de todos os setores da economia; b) Multiplicador de emprego - mede o efeito sobre o número de trabalhadores empregados em todos os setores da economia; e c) Multiplicador de renda - mede o efeito sobre a renda auferida pelas famílias em todos os setores (Miller; Blair, 2009; Guilhoto, 2017).

3.2.5 Multiplicador de produção

O multiplicador de produção para cada setor é a soma da sua respectiva coluna na matriz inversa de Leontief (B). Em suma, o multiplicador corresponde à variação da produção

total (direta e indireta) da decorrente da variação exógena de uma unidade (1 m³) de água na demanda final de uma região por um determinado setor específico.

Em termos formais, o multiplicador de produto simples para o setor j , O_j , é dado por:

$$O_j = \sum_{i=1}^n b_{ij} \quad (01)$$

De forma, que j é um determinado setor da economia; e b_{ij} representa os elementos da matriz inversa de Leontief.

3.2.6 Multiplicador de emprego

O multiplicador do emprego estimou os efeitos de uma mudança exógena na demanda final sobre o montante gerado de emprego na economia. Ele corresponde ao montante de emprego gerado em todos os setores para atender à produção total (direta e indireta) do setor j em resposta a uma variação de R\$ 1,00 ou 1 m³ de água na demanda final pelo setor j , em termos monetários e em termos de fluxos hídricos.

O coeficiente de emprego foi obtido pela equação 02:

$$W_j = \frac{e_j}{X_j} \quad (02)$$

Sendo, e_j corresponde ao número de trabalhadores empregados no setor j ; e X_j é o valor bruto da produção do setor j .

Para uma economia com n setores, tem-se:

$$w' = [w_1, w_2, \dots, w_n] \quad (03)$$

Onde, w é um vetor $n \times 1$, cujos elementos são os coeficientes de emprego dos n setores da economia.

Agora, seja W uma matriz de ordem $n \times n$, cuja diagonal principal é dada pelos elementos do vetor w e fora da diagonal principal têm-se zeros. A partir de W e de B (inversa de Leontief) foi possível criar uma matriz de mesma ordem E da seguinte maneira:

$$E = WB \quad (04)$$

Cada elemento de E é dado por $e_{ij} = w_i \times b_{ij}$ e se interpreta como sendo o montante de emprego gerado no setor i para atender à produção total (direta e indireta) do setor j em resposta a uma variação de R\$ 1,00 na demanda final pelo setor j em termos de fluxo monetário e a uma variação de 1 m³ na demanda final pelo setor j em termos de fluxo hídrico.

Desta forma, a matriz E forneceu a estrutura setorial de geração de emprego na economia, por unidade adicional de demanda final. Como a estrutura da matriz E é semelhante à estrutura das matrizes B e A (matriz dos coeficientes técnicos), o multiplicador simples de emprego é dado por:

$$E_j = \sum_{i=1}^n e_{ij} = \sum_{i=1}^n w_i b_{ij} \quad (05)$$

De forma similar à que foi usada para se calcular o multiplicador de produção, tem-se que o multiplicador de emprego do setor j é calculado como a soma dos elementos da j-ésima coluna da matriz E. Repetindo esse procedimento para cada um dos setores, obtém-se o conjunto de multiplicadores gerais de emprego da economia.

3.2.7 Multiplicador de renda

O multiplicador de renda mediu os impactos de variações unitárias na demanda final sobre a renda recebida pelas famílias na economia. Para calculá-lo estimou-se o seu coeficiente de geração de renda, isto é, a relação entre a renda (salário) gerada neste setor e o valor de sua produção. Em termos formais:

$$R_j = \frac{l_j}{X_j} \quad (06)$$

Onde, l_j é a renda gerada no setor “j”; e X_j é o volume de água consumido pelo setor “j”. De forma análoga ao multiplicador de emprego, tem-se para uma economia com n setores econômicos, o seguinte vetor “r”, de ordem $n \times 1$, de coeficientes de geração de renda:

$$\mathbf{r} = [r_1, r_2, \dots, r_n] \quad (07)$$

Agora, seja R uma matriz de ordem $n \times n$, cuja diagonal principal é dada pelos elementos do vetor r e fora da diagonal principal têm-se zeros. A partir de R e de B é possível criar uma matriz de mesma ordem MR da seguinte maneira:

$$\mathbf{MR} = \mathbf{RB} \quad (08)$$

Cada elemento de MR é dado por $MR_{ij} = r_i \times b_{ij}$ e se interpreta como sendo o montante de renda gerada no setor i para atender à produção total (direta e indireta) do setor j em resposta a uma variação de R\$ 1,00 na demanda final pelo setor j em termos de fluxo monetário e a uma variação de 1 m³ na demanda final pelo setor j em termos de fluxo hídrico.

Desta forma, a matriz MR forneceu a estrutura setorial de geração de renda na economia, por unidade adicional de demanda final. Como a estrutura da matriz MR é

semelhante à estrutura das matrizes B (inversa de Leontief) e A (matriz dos coeficientes técnicos), o multiplicador simples de renda é dado por:

$$MR_j = \sum_{i=1}^n MR_{ij} = \sum_{i=1}^n r_i b_{ij} \quad (09)$$

De forma similar à que foi usada para se calcular o multiplicador de produção e de emprego, tem-se que o multiplicador de renda do setor j é calculado como a soma dos elementos da j-ésima coluna da matriz MR. Repetindo esse procedimento para cada um dos setores, obtém-se o conjunto de multiplicadores gerais de renda da economia.

3.2.8 Índices de Rasmussen e Hirschman

Os índices de Rasmussen e Hirschmann (Rasmussen, 1956; Hirschman, 1958) foram aplicados à MIPRH/CE para determinar quais seriam os setores com o maior poder de encadeamento para trás e para frente na economia. Os índices de ligações “Para Trás” revelam quanto um setor demandaria dos demais e os índices Para Frente expõem a quantidade demandada de outros setores da economia pelo setor em análise.

Para o cálculo dos encadeamentos, conforme apresentado por Miller & Blair (2009) e Guilhoto (2011), realizaram-se operações sobre os elementos da matriz inversa de Leontief visando computar os seguintes elementos:

$\sum_j b_{ij}$ – Soma dos elementos da j-ésima coluna da matriz inversa de Leontief B;

$\sum_i b_{ij}$ – Soma dos elementos da i-ésima linha da matriz inversa de Leontief B;

$\sum_i \sum_j b_{ij}$ – Soma total dos elementos da matriz inversa de Leontief B;

B^* – Valor médio de todos os elementos da matriz inversa de Leontief B:

$$B^* = \frac{\sum_i \sum_j b_{ij}}{n^2} \quad (10)$$

Onde:

n - Número de setores.

Assim, os índices são definidos formalmente da seguinte forma:

3.2.9 Índice de ligação para trás

$$U_j = \frac{\sum_j b_{ij}/n}{B^*} \quad (11)$$

3.2.10 Índice de ligação para frente

$$U_i = \frac{\sum_i b_{ij}/n}{B^*} \quad (12)$$

Onde:

$\sum_j b_{ij}/n$ - Valor médio da j-ésima coluna da matriz inversa de Leontief B;

$\sum_i b_{ij}/n$ - Valor médio da i-ésima linha da matriz inversa de Leontief B.

n – Número de setores.

Se $U_j > 1$, representa uma forte ligação para trás do setor “j”, pois indica uma mudança unitária na demanda final pelo setor “j”, o qual cria um aumento acima da média na economia como um todo. Se $U_i > 1$, no que lhe concerne, representa uma forte ligação para frente, pois indica que mudanças unitárias nas demandas finais de todos os setores criam um aumento acima da média no setor “i”.

Em casos de $U_j > 1$ e $U_i > 1$, há indicação de setor-chave da economia. Esses são setores que possuem fortes efeitos de encadeamento em termos de fluxo de bens e serviços, ou seja, setores-chave para o crescimento da economia.

3.2.11 Elasticidade do consumo de recursos hídricos a uma variação na demanda final

Para encontrar os setores-chave no que concerne ao consumo de recursos hídricos foi construída uma matriz de elasticidades inter-setoriais de demanda hídrica em relação ao consumo final, foi adotada a metodologia descrita por Carvalho e Perobelli (2009). Para isso, considere Γ um escalar que denota o uso de recursos hídricos total pelo sistema produtivo e τ' um vetor-linha do uso de recursos hídricos por unidade de produto setorial. A partir do modelo de Leontief, pode-se escrever:

$$\Gamma = \tau'X^* = \tau'(I - A^*)^{-1}Y^* \quad (13)$$

Se o uso de água depende da demanda final da economia, pode-se escrever:

$$\Delta\Gamma = \tau'\Delta X^* = \tau'(I - A^*)^{-1}Y^*\gamma \quad (14)$$

Onde γ é um escalar que representa o aumento proporcional na demanda final. Seja S, um vetor da participação das demandas finais setoriais em suas respectivas produções efetivas:

$$S = (\hat{X}^*)^{-1}Y^* \text{ ou } Y^* = S\hat{X}^* \quad (15)$$

Substituindo (15) em (14), tem-se:

$$\Delta\Gamma = \tau'(I - A^*)^{-1}S\hat{X}^*\gamma \quad (16)$$

Dividindo por Γ :

$$\Gamma^{-1}\Delta\Gamma = \Gamma^{-1}\tau'(I - A^*)^{-1}S\hat{X}^*\gamma \quad (17)$$

Onde $\Gamma^{-1}\Delta\Gamma$ mostra o aumento total de consumo de recursos hídricos em relação a um aumento na demanda final, isto é, a elasticidade de Γ em relação à demanda final. Porém, esta expressão não gera nenhuma informação adicional, dada a natureza linear do modelo, pois $\Gamma^{-1}\Delta\Gamma = \gamma$. Portanto, é necessário realizar uma desagregação da elasticidade.

A primeira etapa desta desagregação da elasticidade é transformar a equação (17). Para isso, seja d' um vetor da distribuição de recursos hídricos final entre os n setores produtivos da economia, tal que $\sum_{i=1}^n d_i = 1$. Assim, o vetor dos coeficientes de consumo setorial τ' pode ser escrito como:

$$\tau = \Gamma d'(\hat{X}^*)^{-1} \quad (18)$$

Substituindo (18) em (17):

$$\Gamma^{-1}\Delta\Gamma = d'(\hat{X}^*)^{-1}(I - A^*)^{-1}S\hat{X}^*\gamma \quad (19)$$

E considerando que:

$$(I - D)^{-1} = (\hat{X}^*)^{-1}(I - A^*)^{-1}\hat{X}^* \quad (20)$$

Pois, segundo Miller e Blair (2009), quando duas matrizes quaisquer, P e Q , são conectadas pela relação $P = MQM^{-1}$, elas são ditas similares, sendo expressas por $P \approx Q$. Logo, o produto do lado direito de (16) torna-se $(I - D)^{-1} \approx (I - A^*)^{-1}$, ou seja, $(I - D)^{-1}$ pode ser entendido como o valor aproximado das necessidades totais (diretas e indiretas) para a produção de bens e serviços na economia, os quais são usualmente obtidos da matriz $(I - A^*)^{-1}$.

Com a diagonalização do vetor S , pode-se obter a variação proporcional do consumo de recursos hídricos de cada setor econômico em relação a uma mudança proporcional na demanda final, a partir das equações (19) e (20) obtém-se:

$$\varepsilon' = d'(I - D)^{-1}\hat{S}\gamma \quad (21)$$

Omitindo-se γ e fazendo a diagonalização do vetor d' , tem-se:

$$\Gamma^y = \hat{d}(I - D)^{-1}\hat{S} \quad (22)$$

Onde τ_{ij}^y é o elemento característico da matriz Γ^y e expressa a porcentagem de aumento no consumo de recursos hídricos final do setor i em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor j , e pode ser interpretado como elasticidade, dado que a soma dos

elementos da coluna do setor j expressa a percentagem de variação do consumo de recursos hídricos experimentado por toda a economia em resposta a uma mudança de 1% na demanda final do setor j .

Sendo τ_{ij}^y um elemento da matriz Γ^y , pode-se definir:

$$\Gamma_{D_{*j}} = \sum_{i=1}^n \tau_{ij}^y / n \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (23)$$

$$\Gamma_{D_{i*}} = \sum_{j=1}^n \tau_{ij}^y / n \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (24)$$

$$\Gamma_{T_{ij}} = \sum \tau_{ij}^y / n \quad (j=1, 2, \dots, n) \quad (25)$$

De acordo com Carvalho e Perobelli (2009), o impacto gerado pela da variação de 1% na demanda final de recursos hídricos é dividido em dois componentes, sendo o primeiro o impacto distributivo e o segundo o impacto total. De forma que o impacto distributivo é expresso pelo valor da média das linhas e apresenta o aumento de consumo de recursos hídricos do setor i , resultante de um incremento de 1% no encadeamento para frente na demanda final experimentada por todos os setores da economia, e pelo valor da média das colunas, que expressa um aumento de 1% no encadeamento para trás na demanda final no setor j , dado pelas equações 22 e 23.

E o impacto total é obtido pela média global das linhas e colunas e expõe o aumento percentual no consumo de água causado por um aumento de 1% na demanda final na economia, dado pela equação 24. Definindo Γ_D e Γ_T como os valores medianos dos impactos totais e distributivos, respectivamente. Carvalho e Perobelli (2009) adotam a seguinte classificação estabelecida na Quadro 5.

Quadro 5 - Classificação dos setores quanto a elasticidade da demanda por recursos hídricos.

	$\Gamma_{D_i} < \Gamma_T$	$\Gamma_{D_i} > \Gamma_T$
$\Gamma_{D_j} > \Gamma_T$	Setores relevantes do ponto de vista da demanda de outros setores I	Setores-chave II
$\Gamma_{D_j} < \Gamma_T$	Setores não relevantes III	Setores relevantes do ponto de vista de sua própria demanda IV

Fonte: Carvalho e Perobelli (2009)

Os setores no quadrante I têm seu consumo de água determinado, em parte, pela demanda dos outros setores, pois o impacto distributivo é maior que a mediana da economia. Os setores no quadrante II são os setores-chave, pois apresentam um efeito total e distributivo maior que os valores medianos da economia, isto é, eles são induzidos a consumir água pelo

aumento da demanda dos outros setores e, em simultâneo, eles pressionam o consumo de água dos outros setores pelo aumento de sua própria demanda. No quadrante III, estão os setores menos relevantes no que concerne ao consumo de recursos hídricos e, por fim, no quadrante IV, estão os setores com alto influência na demanda de recursos hídricos.

3.3 Resultados e discussão

A água é um recurso essencial para o desenvolvimento sustentável de todas as regiões. No entanto, no Ceará, trata-se de um recurso escasso devido às suas características geográficas, pois está localizado na região semiárida do Brasil, onde a baixa disponibilidade de água é resultado da combinação de diversos fatores, como baixas taxas de precipitação (menos de 900 mm), altas taxas de evaporação (superiores a 2000 mm), irregularidade do regime de precipitação (secas frequentes e algumas vezes multianuais) e um contexto hidrogeológico desfavorável (80% do território está em rocha cristalina, com uma camada de solo raso e poucos recursos hídricos subterrâneos) (Souza Filho, 2019).

Assim, analisar os fluxos de água na economia regional pode ajudar no planejamento e gestão dos recursos hídricos. Pois, a água é o principal insumo de produção. Seu nível de demanda por atividades econômicas pode afetar a segurança hídrica regional, afetando assim a produção de bens e serviços e, por sua vez, o nível de atividades econômicas.

Aqui, apresentamos os resultados dos fluxos de água aplicando nossa metodologia de multiplicadores gerais de produção, emprego e renda para avaliar o retorno econômico do uso da água, e a análise dos índices Rasmussen e Hirschman e o cálculo da elasticidade da demanda de água para avaliar as ligações ‘para frente e para trás’ do consumo de recursos hídricos. Nosso objetivo é observar os setores com maior grau de influência e impacto no consumo direto e intermediário de água na economia do estado do Ceará.

3.3.1 Consumo direto de água: multiplicadores gerais de produção, emprego e renda

O consumo direto de água e os multiplicadores gerais de produção, emprego e renda em termos de fluxo de recursos hídricos são apresentados no Apêndice D. Segundo a MIPRH/CE, o consumo direto de água pelos setores econômicos do estado do Ceará soma uma demanda de água na ordem de 1,33 trilhão de m³. Entre esses setores, a agropecuária tem o maior consumo direto, com 62,08%, seguida pelo setor de serviços, com 30,50%, e, por fim, a indústria, com apenas 7,42%.

O setor agrícola trata de produtos relacionados a culturas permanentes e

temporárias, pecuária, pesca e extração vegetal. Essas atividades, em geral, consomem essencialmente água bruta em seus processos produtivos. No entanto, apesar de ser o setor com maior nível de consumo de água no Ceará, este possui o menor nível de retorno econômico do uso da água entre os processos produtivos dos setores econômicos analisados.

Os multiplicadores gerais de produção do setor agropecuário, renda e emprego são, respectivamente, R\$ 17,09/m³, R\$ 3,01/m³ e 0,80 empregos/1000 m³, sendo os menores multiplicadores registrados no comparativo com os demais setores da economia cearense. A fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias, e outras indústrias do setor de equipamentos de transporte tem os maiores multiplicadores gerais de produção, renda e emprego por m³ de água (R\$20.986,41/m³ de água; R\$4.893,68/m³ de água; 315,80 empregos/1000 m³ de água) (Apêndice D).

Os multiplicadores gerais do setor agropecuário representam apenas 0,08%, 0,06%, e 0,25% do setor de fabricação de veículos automotores, reboques, órgãos e outros equipamentos de transporte, respectivamente.

Assim, setor agropecuário merece maior atenção dos gestores de recursos hídricos para reduzir o consumo de água e alcançar níveis mais elevados de produtividade, dadas as dificuldades que este setor enfrenta em relação à escassez de água para o desenvolvimento de suas atividades.

Outros setores com multiplicadores gerais de alta produção foram a fabricação de máquinas e equipamentos (R\$12.435,03/m³ de água); e fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, eletrodomésticos e materiais elétricos (R\$11.723,20/m³ de água), apresentados no Apêndice D.

A fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte apresentou um multiplicador de produção de aproximadamente R\$20.986,41/m³, o que indica que um aumento no volume de água de 1 m³ na demanda final do setor levaria a um aumento na produção do setor de R\$ 20.986,41.

Neste caso, o setor apresentou um multiplicador de renda de cerca de R\$ 4.893,68/m³. Isso indica que o aumento de uma unidade de água de 1 m³ na demanda final do setor levaria a um aumento na produção do setor de R\$ 4.893,68 na massa salarial dos trabalhadores empregados na economia.

Foram observados multiplicadores de alta renda para esses setores econômicos: fabricação de máquinas e equipamentos (R\$3.191,50/m³ de água) e fabricação de equipamentos

de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, eletrodomésticos e materiais elétricos (R\$2091,06/m³ de água) (Apêndice D).

Outros setores com alto multiplicador geral de emprego foram: fabricação de máquinas e equipamentos (277,62 empregos/1000 m³ de água) e fabricação de produtos farmacêuticos e farmacêuticos (150,67 empregos/1000 m³ de água) (Apêndice D).

Esse resultado indica que o aumento de 1000 m³ na demanda final na fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias, e outros setores de equipamentos de transporte levaria a um aumento de 315 unidades de empregos gerados pelo setor e seus segmentos com outros setores.

A fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias, e outros equipamentos de transporte, fabricação de máquinas e equipamentos, fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, eletrodomésticos e materiais elétricos, e fabricação de produtos farmacêuticos e farmacêuticos têm os maiores multiplicadores gerais de produção, emprego e renda; no entanto, juntos, representam apenas 0,01% do volume de água consumido pelos setores econômicos do estado do Ceará (Apêndice D).

Esses setores fazem parte do parque industrial do Ceará e refletem a dinâmica que o setor apresenta em seus processos produtivos associados aos baixos níveis de consumo de água e maior valor agregado nos bens e serviços oferecidos à economia regional.

Em 2013, o setor industrial do Ceará consumiu 98.816.204 m³ de água em seu processo de produção. Os principais setores econômicos em termos de consumo direto de água nos processos produtivos são a fabricação de produtos têxteis, vestuário e acessórios, calçados e artigos de couro (43.088.462 m³), indústrias extrativas (18.317.716 m³), fabricação de bebidas (11.406.933 m³) e fabricação de alimentos (7.914.521 m³). Juntos, elas representam 6,06% do total de água consumida diretamente por todos os setores econômicos.

Entre os setores de serviços, são importantes as atividades de administração, defesa, educação, saúde pública, previdência social, educação privada e saúde, artes, cultura, esporte e recreação, entre outras atividades de serviço. Embora esses setores tenham menor produção, emprego e multiplicadores de renda do que os setores industriais, eles têm um alto nível de consumo direto de água de 206.024.667 m³ (15,47%).

Notavelmente, esses setores de prestação de serviços são geralmente localizados em áreas urbanas, sendo fornecidos por redes de distribuição de água tratada de melhor

qualidade. Isso difere do setor agrícola que utiliza água bruta em seus processos produtivos.

3.3.2 Consumo intermediário de água e suas ligações: Índices de Rasmussen e Hirschman

Em termos de governança hídrica, a análise do consumo intermediário de água por atividades econômicas representa um mecanismo de gestão e planejamento orientado à segurança hídrica devido ao crescimento econômico regional, tendo em vista que a água é um insumo utilizado nos processos produtivos de todos os setores econômicos regionais (Firme, 2017).

Segundo a MIPRH/CE, o consumo intermediário de água pelos setores econômicos cearenses é de 193,47 bilhões de m³. O setor agrícola consome 37.479.301 m³ (19,37%), o setor industrial consome 25.047.820 m³ (12,94%), e o setor de serviços consome 67,68% (130.944.545 m³) (Apêndice E).

Entre esses setores, a Administração, defesa, educação e saúde pública e seguridade social com 60.477.024 m³ (31,26%), Agropecuária com 37.479.301 m³ (19,37%), e Educação privada e saúde com 14.905.943 m³ (7,70%), têm o maior consumo intermediário de água (Apêndice E).

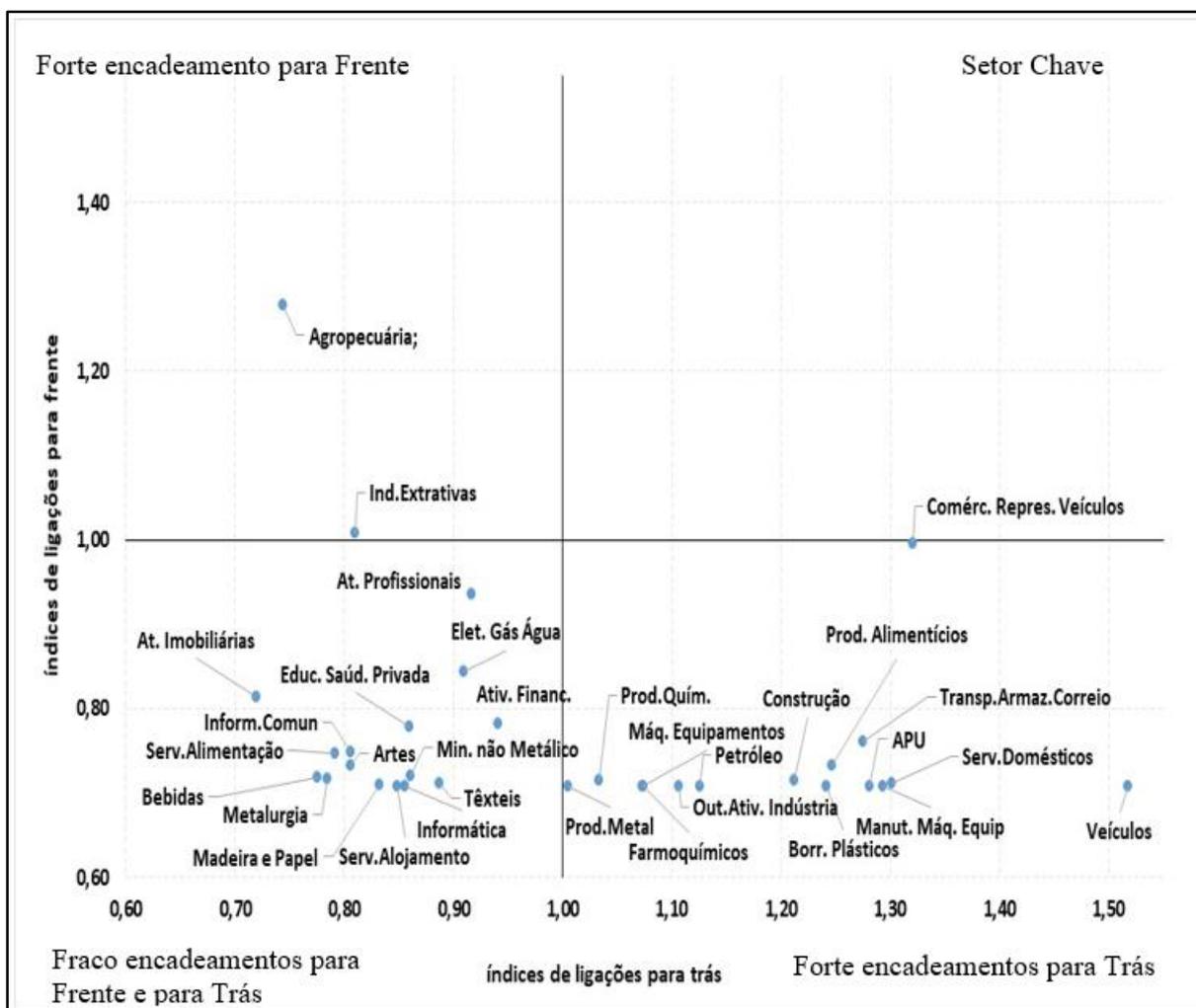
Esta análise nos permite visualizar e medir um componente oculto do uso total da água nos processos de produção. De forma que permite uma melhor identificação dos fluxos intersetoriais de água, especialmente a escala e como ocorre o consumo intermediário de água entre e dentro das atividades econômicas (Wang *et al.*, 2017; Firme, 2017).

Nesse sentido, o consumo intermediário representou uma parte significativa do consumo total de água no estado. Isso demonstra que o Ceará, apesar de estar em uma região semiárida com escassez de água, possui uma estrutura econômica baseada em setores que consomem grandes quantidades de água. Portanto, análises que consideram apenas o uso direto da água em cada setor geram conclusões errôneas, considerando que esses setores consomem indiretamente uma quantidade de água suficientemente importante para ameaçar a sustentabilidade do abastecimento de água do Estado.

Esse tipo de consumo pode ser melhor qualificado pelos índices de Rasmussen e Hirschman nas conexões "ligações para trás e para frente". Esses índices estabelecem os setores que possuem maior poder para propagar o consumo indireto de água na economia por meio da demanda e da oferta intersetorial de bens e serviços na forma de recursos produtivos, considerando, efeitos diretos, indiretos e induzidos.

Quando foram analisados, de forma conjunta, os índices de ligações para frente e para trás aplicados à estrutura econômica do consumo de água entre os setores produtivos cearenses, foi constatado que apenas o comércio e reparação do setor de veículos automotores e motocicletas tem um consumo dinâmico de água acima da média estadual (Figura 9).

Figura 9 - Índices de ligação de Rasmussen e Hirschman (Efeitos diretos, indiretos e induzidos) dos fluxos hídricos para frente e para trás, Ceará



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Isso ocorre por esse setor ser o segundo setor mais importante entre os setores de serviços do Ceará, com 18,95% do Valor Agregado Bruto. Este setor possui 9.703.543 m³ de consumo intermediário de água na forma de recursos em seus processos produtivos. Isso representa 5,01% do volume total de consumo intermediário de água entre todos os setores do estado do Ceará.

Notavelmente, o comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas tem ligações mais fortes com os seguintes setores, por meio da prestação desses serviços por seus

Representantes Comerciais e Agentes do Comércio: Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas, Serviços Administrativos e Complementares, Atividades Imobiliárias, Agricultura, Atividades Financeiras, Seguros e Serviços Relacionados. Além disso, o setor é fortemente impactado pelo consumo das famílias (Apêndice E).

Constatou-se que o setor agrícola, apesar de ser reconhecido como um setor que consome uma alta quantidade de água em seus processos produtivos, não é identificado como um setor-chave em termos de fluxos de água. No entanto, mostrou-se um setor importante em termos de ligações para a frente no consumo de água. Além disso, teve forte conectividade com esses setores: comércio e reparo de veículos automotores e motocicletas, e fabricação de produtos alimentícios. O setor agropecuário também é impactado pelo consumo das famílias, pois este induz a produção de bens e serviços deste setor.

3.3.3 Índices de Rasmussen e Hirschman para trás

Os setores com fortes ligações para trás em termos de fluxos de água foram fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte (1.5180), comércio e reparo de veículos automotores e motocicletas (1.3206) e serviços domésticos (1.3009). Esses setores têm consumo intermediário de água a 149.601 m³ (0,08%), 9.703.543 m³ (5,02%) e 7.968.170 m³ (4,12%), respectivamente. Apenas a fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte tem menor representação no consumo total intermediário de água (Apêndice E).

Gao *et al.* (2018), ao examinar o comércio internacional de Pequim na China verificou que os seguintes setores produtivos têm o maior índice de ligação para trás e estão mais relacionados ao setor de serviços: Processamento de alimentos e tabaco; Construção; serviços de técnica sintética; Hotelaria e gastronomia; Serviços de transmissão de informações, Software e tecnologia da informação. Isso indica que, para apoiar seus processos produtivos, esses setores necessitam de grandes importações com recursos hídricos incorporados em seus bens e serviços.

3.3.4 Índices de Rasmussen e Hirschman para frente

O índice de ligação para a frente em termos de fluxos de água indica dois setores com fortes ligações: agricultura (1,2780) e indústria extrativa (1,0089). Esses dados indicam que esses setores oferecem mais água virtual por meio de seus bens e serviços para outros setores (Apêndice E). Esses dois setores interagem com outros setores produtivos com nível de influência acima da média estadual.

Segundo Amorim *et al.* (2009) e Boudhar *et al.* (2017), o setor agrícola tem alto poder para difundir impactos na economia causados por choques à agroindústria e as repercussões do setor agrícola como fornecedor de recursos. Isso ocorre por interações entre o setor agrícola e as agroindústrias de abate animal, processamento de produtos à carne, produção de laticínios e pesca. O setor agrícola é de grande importância para a economia brasileira, segundo (Costa *et al.*, 2013).

Dado que o setor agrícola é comprador de bens e serviços, e gerador de recursos para outros setores. Isso destaca seu papel como fornecedor de matérias-primas para o desenvolvimento de setores não agrícolas, e sua importância para o mercado consumidor e produtos industrializados.

A análise revela que o setor agrícola, a produção e o fornecimento de eletricidade, vapor e água quente, metalurgia, fundição e prensagem, produtos químicos e comércio foram os setores que possuem os maiores índices de ligação para a frente em termos de demanda de água por meio das interações que esses setores produtivos têm na economia local do Ceará. Portanto, isso produz um efeito multiplicador do impacto de seus produtos processados sobre os demais setores na estrutura econômica regional.

Em relação às ligações para a frente, o consumo das famílias tem um grande efeito induzido (8,3247) na produção econômica setorial. Isso porque as famílias alocam grande parte de sua renda para a aquisição de bens e serviços na economia. Eles obtêm renda disponibilizando seu trabalho para as empresas.

Esses resultados para o índice de ligação para a frente, sugerem que setores que possuem alto nível de ligações para a frente consomem mais água física do que água virtual em seus processos de produção. Portanto, um aumento da produção dentro desses setores tende a exercer maior pressão sobre as fontes de recursos hídricos existentes na região, como barragens e poços, para atender a esse aumento da demanda.

Assim, o monitoramento efetivo dos fluxos físicos e virtuais de água possibilita uma melhor gestão da disponibilidade regional de água, relacionando as forças da demanda por água com o abastecimento de água existente de forma compatível com os múltiplos interesses de seus usuários e seus gestores.

Portanto, o conhecimento dos fluxos de água gerados pelas atividades econômicas melhora a governabilidade do abastecimento de água, possibilitando a análise da capacidade de apoio da estrutura física de armazenamento e distribuição de água diante das forças demandadas

pelas atividades econômicas.

3.3.5 Multiplicadores de impacto: direto, indireto e induzido

O consumo de água é um insumo importante para diversos setores da economia, como agricultura, indústria e serviços. Uma variação na demanda final de um setor que consome água pode ter impactos significativos sobre o uso desse recurso em toda a cadeia produtiva. Por exemplo, um aumento na demanda por produtos agrícolas pode elevar o consumo de água direto do setor agrícola, mas também o consumo indireto dos setores que fornecem fertilizantes, sementes, máquinas e outros insumos para a agricultura. Além disso, o aumento na renda das famílias decorrente da maior produção agrícola pode induzir um maior consumo de água nos setores que atendem às necessidades de alimentação, higiene, lazer, e de outros bens e serviços das famílias (Guilhoto *et al.*, 2017).

Portanto, o uso de multiplicadores de impacto pode auxiliar na análise dos efeitos econômicos e ambientais do consumo de água pela matriz insumo-produto. Essa ferramenta pode contribuir para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, bem como para a formulação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade do desenvolvimento econômico e social (Boudhar *et al.*, 2017; Mohan *et al.*, 2021).

Desta forma, esses multiplicadores foram calculados por meio da Matriz Insumo-Produto Regional de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE), para identificar as interações de demanda hídrica entre os setores econômicos do Ceará. Este visam estimar o impacto total de mudanças na demanda de água nos setores produtivos e sua influência na economia do Estado.

Com base nestes multiplicadores gerais foram observados os efeitos médios diretos, indiretos e induzidos gerados pelos fluxos de água por meio dos índices de Rasmussen e Hirschmann para as ligações para a frente e para trás de todos os setores econômicos do Ceará.

No que se refere aos efeitos para frente, foi constatado que estes são mais influenciados pelos efeitos indiretos gerados pelas inter-relações setoriais existentes na economia regional, e contribuem em média com 90,80% do efeito total gerado na estrutura econômica regional.

Isso porque os setores econômicos do Ceará são induzidos a consumir mais água devido às suas interações com outros setores quando os primeiros oferecem bens e serviços na economia. A demanda intersetorial pressiona o consumo de água em seus sistemas de produção.

O comércio e reparação do setor de veículos automotores e motocicletas é um setor-chave em termos de fluxos de água. Observou-se que o efeito total deste setor teve a seguinte composição em termos de efeitos diretos, indiretos e induzidos: 22,90%, 71,38% e 5,72%, respectivamente. De forma que, seus efeitos indiretos para as ligações para a frente são os mais fortes. Já os efeitos médios diretos, indiretos e induzidos para trás para o setor de comércio e reparação do setor de veículos automotores e motocicletas, gerados pelos fluxos de água, foram de 4,34%, 71,19% e 24,48%, respectivamente. Assim, da mesma forma que os efeitos indiretos para frente tiveram a maior contribuição no efeito total, os efeitos indiretos deste setor também apresentaram maior participação no efeito total.

Quanto aos efeitos induzidos para trás, estes não são distribuídos na mesma intensidade que os efeitos induzidos das ligações para a frente no setor de comércio e reparação do setor de veículos automotores e motocicletas. Este fato pode ser explicado pela maior participação dos efeitos induzidos gerados pelo consumo das famílias no efeito total sobre a economia regional. Tendo em vista que a produção gerada pelos setores econômicos, se destina a atender às necessidades das famílias em suas ligações para trás.

Entre os setores econômicos com maior efeito multiplicador para trás quanto às ligações de consumo de água, destaca-se o setor de fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias, e outros equipamentos de transporte (2.1459), comércio e reparo de veículos automotores e motocicletas (1,8669), Serviços domésticos (1,8390) e manutenção, reparo e instalação de máquinas e equipamentos (1,8285) (Apêndice F).

Os setores com maior efeito multiplicador para frente quanto às ligações de consumo de água, estão: a agricultura (1,8066), as indústrias extrativistas (1,4262), o comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas (1,4088). O efeito induzido gerado pelo consumo das famílias (11,7681) teve grande peso no efeito total sobre a produção de todos os setores da economia cearense (Apêndice G).

Notadamente, o efeito induzido causado pelo consumo das famílias estimula principalmente os efeitos de ligação para a frente na estrutura econômica cearense. Além disso, afeta o setor agrícola que está bem conectado com os setores industrial e de serviços. Assim, o consumo das famílias tem um alto efeito multiplicador que estimula direta e indiretamente a estrutura da economia e a demanda de seus setores.

Observando o efeito total, resultante dos efeitos diretos, indiretos e induzidos, gerados pelos fluxos de água por meio dos índices de Rasmussen e Hirschmann para as ligações

para a frente no setor da agropecuária, setor com maior consumo direto de água da estrutura econômica do Ceará, verificou-se que o efeito total (Efeitos diretos, indiretos e induzidos) dos encadeamentos dos fluxos hídricos, para frente foi de 1,8066, o que indica que para cada m³ de água consumido pelo setor da agropecuária, será gerada uma demanda final 1,8066m³ para frente.

Já quanto ao efeito total (Efeitos diretos, indiretos e induzidos) dos encadeamentos dos fluxos hídricos do setor agropecuário para trás, este foi da ordem de 1,0516, o que indica que para cada m³ de água consumido pelo setor da agropecuária, será gerada uma demanda final 1,0516m³ para trás.

Ressaltando, que os efeitos indiretos de seus encadeamentos tanto para frente (1,0082) como para trás (1,0013), foram os que demonstraram ter uma maior participação no efeito total. Indicando que o consumo indireto de água constitui um volume relevante na demanda total dos setores econômicos em seus processos de produção, tendo em vista a necessidade da aquisição de grandes quantidades de matéria-prima de outros setores econômicos, e até mesmo do próprio setor.

Avaliando os efeitos indiretos gerados do setor agropecuários, os setores econômicos que mais interagem e contribuem com os efeitos indiretos para frente com este setor são o próprio setor agropecuário (1,0010), a Fabricação de produtos alimentícios (0,0054), a Fabricação de bebidas (0,0003), o Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis (0,0002), Serviços de alojamento (0,0001), Serviços de alimentação (0,0011), e os serviços de Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços (0,0001).

Já quanto a análise dos efeitos indiretos gerados pelo setor agropecuário para trás, verificou-se uma contribuição forte do próprio setor agropecuário (1,010), e dos setores econômicos dos serviços das Atividades imobiliárias (0,0001) e das Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares (0,0001).

Deste modo, observando que em média os efeitos multiplicadores indiretos para frente sobre o consumo de água no setor agropecuário correspondem por 55,8% dos efeitos de multiplicação total, e os efeitos multiplicadores indiretos para trás representam 95,2%. Esta situação é explicada pelo fato de que o setor agropecuário demanda um grande volume de água indiretamente.

Assim, em um cenário onde há um aumento de 20% da demanda final no setor agropecuário (165.348.178,10m³). Os resultados da simulação mostram um aumento na

demanda hídrica final para frente de 110.326.701,83 m³ devido aos efeitos diretos, 166.705.289,81 m³ devido aos efeitos indiretos, e de 21.682.987,95 m³ em função dos efeitos induzidos. Totalizando um acréscimo de 298.714.979,59 m³ na demanda hídrica final causado pelo efeito multiplicador total para frente.

Neste mesmo cenário, também foi identificado um acréscimo na demanda hídrica final para trás na ordem de 1.140.644,82 m³ devido aos efeitos diretos, 165.558.818,20 m³ devido aos efeitos indiretos, e de 7.188.029,06 m³ em função dos efeitos induzidos. Assim, este aumento de 20% criado diretamente na demanda do Setor Agropecuário, gerou um choque na demanda final para trás de aproximadamente 173.887.492,09 m³.

Em termos de uso da água, os resultados da simulação mostram um aumento de 35,5% na quantidade de água consumida pela economia. Isso significa que quando ocorrer um aumento de 20% da demanda final no setor Agropecuário, o Estado do Ceará precisará de um abastecimento adicional de água de 472.602.471,68 m³ para satisfazer a demanda de água da estrutura de produção do Estado, incluindo os 165.348.178,10 m³ que serão absorvidos pelo setor Agropecuário.

Entre as medidas que o governo do Estado pode adotar para incentivar os encadeamentos para frente ou para trás na estrutura econômica do Ceará, estão:

- a) políticas de incentivo fiscal: O governo pode oferecer incentivos fiscais, como redução de impostos, isenção de taxas ou subsídios, para empresas que invistam em setores de maior valor agregado ou que promovam o desenvolvimento de cadeias produtivas mais complexas, como no caso das políticas de incentivos fiscais voltadas para a industrialização do estado do Ceará (Nascimento filho, 2021);
- b) políticas de apoio à inovação: o governo pode criar programas de incentivo à pesquisa e desenvolvimento, oferecendo subsídios e benefícios fiscais para empresas que investirem em inovação. Isso pode estimular o surgimento de novas indústrias e tecnologias, impulsionando os encadeamentos para frente (Ceará, 2018);
- c) estímulo ao empreendedorismo: esta ação promove a cultura empreendedora por meio de capacitação, financiamento e suporte técnico para startups e pequenas empresas. Isso pode ajudar a criar negócios inovadores e dinâmicos, que geram demanda por fornecedores locais e estimulam a diversificação da economia, contribuindo não apenas para o crescimento e desenvolvimento econômico,

como também por ser apontado como o principal responsável pela abertura de novos negócios, o que impacta diretamente na geração de novos empregos e de renda, estimular a competitividade, a inovação, o aumento da produtividade e diversificação de produtos e serviços (Hobus, 2021);

- d) desenvolvimento de parques industriais: fomenta a criação de clusters e parques industriais em áreas estratégicas do Estado, onde empresas do mesmo setor possam se concentrar e interagir, gerando sinergias e oportunidades de negócios para fornecedores e prestadores de serviços (Batalha, 2021);
- e) fortalecimento das cadeias produtivas locais: o governo pode incentivar o fortalecimento das cadeias produtivas locais, estimulando a interação entre os diversos setores e fornecedores, facilitando a formação de clusters industriais e promovendo a cooperação entre empresas (Batalha, 2021);
- f) estímulo à demanda por produtos locais: o governo pode adotar políticas de compras públicas que priorizem produtos e serviços fornecidos por empresas locais, estimulando a demanda e incentivando o crescimento dos setores produtivos do Estado, como o Programa Nacional de Alimentação Escolar – PNAE e o PAA- Programa de Aquisição de Alimentos, que promovem a compra de alimentos produzidos pela agricultura familiar (Soares; Sales, 2022);
- g) infraestrutura e logística: o investimento voltado para a melhoria da infraestrutura e logística, como estradas, portos e aeroportos, para facilitar o escoamento da produção local e a integração com mercados regionais e internacionais, pode tornar a região mais atrativa para investimentos e estimular os encadeamentos para frente (Batalha, 2021);
- h) parcerias público-privadas: a busca por parcerias com o setor privado para desenvolver projetos conjuntos que estimulem os encadeamentos para frente, como a criação de centros de pesquisa e desenvolvimento, incubadoras de empresas e parques tecnológicos. De modo que o fortalecimento do ambiente de estímulo à inovação e ao desenvolvimento tecnológico é essencial para que o Ceará supere gargalos que travam o seu desenvolvimento e contribua para a diversificação de matriz produtiva (Ceará, 2018);
- i) Incentivo ao desenvolvimento da indústria têxtil e de confecções: O setor têxtil e de confecções do Ceará tem uma cadeia produtiva bastante integrada, com demanda por fios, tecidos, botões, linhas, etiquetas e outros insumos. O processo produtivo da cadeia têxtil se inicia com a matéria-prima (fibras e filamentos)

sendo transformada em fios nas fábricas de fiação, seguindo para a tecelagem plana ou para a malharia e, finalmente, para o acabamento. Sendo também, depende de serviços de modelagem, corte, costura, estamparia e logística (Junior, 2022);

- j) construção civil: a construção civil do Ceará é fortemente dependente de insumos como cimento, areia, pedra, ferro, madeira, entre outros. Além disso, necessita de serviços de arquitetura, engenharia, mão de obra especializada e logística para o transporte de materiais (Araújo, 2015);
- k) energia renovável: o Ceará possui um grande potencial para geração de energia renovável, especialmente eólica e solar. Nesse setor, há um encadeamento para trás relacionado à aquisição de equipamentos e componentes para a construção e manutenção dos parques eólicos e das usinas solares, bem como serviços de engenharia e consultoria especializada (Ceará, 2018);
- l) desenvolvimento de agroindústrias: o setor da agroindústria do Ceará engloba atividades como processamento de frutas, laticínios, beneficiamento de algodão, entre outros, demanda insumos agrícolas, equipamentos, embalagens, transporte e serviços de logística (Nogueira, 2022).

Assim, segundo estudos realizados por Boudhar *et al.* (2017) e Mohan *et al.* (2021), o uso dos Índices de Rasmussen e Hirschmann para as ligações para a frente e para trás, podem ajudar a identificar os setores-chave, com maior potencial para estimular a demanda hídrica no Estado do Ceará. De modo, que estes podem revelar, dentro da estrutura produtiva regional, as características de consumo dos diferentes setores produtivos, com base em sua tecnologia de produção e padrões de demanda hídrica.

3.3.6 Elasticidade da demanda dos fluxos hídricos

Segundo Carvalho e Perobelli (2009), o cálculo das elasticidades da demanda por meio da MIP Regional fornece informações sobre a sensibilidade de cada setor diante de um choque de demanda dos demais setores.

Cada elemento de uma determinada coluna da matriz mostra o impacto distributivo por meio das ligações para trás que cada setor tem devido a um aumento de 1% na demanda final de água a partir da produção dos outros setores; ou seja, a soma dos elementos de uma determinada coluna mostra o impacto distributivo através da ligação retrógrada, em termos de demanda virtual de água, na estrutura econômica regional em resposta a um aumento de ponto percentual na demanda final de água dos demais setores.

Analogamente, a soma de cada linha representa o impacto distributivo para frente gerado em um setor quando a demanda final de água dos outros setores aumentou em um ponto percentual. Assim, os setores com maior elasticidade de demanda em termos de ligações para trás foram: fabricação de veículos automotores, reboques, carrocerias e outros equipamentos de transporte ($GD_j = 1,0105$), comércio e reparo de veículos automotores e motocicletas ($GD_j = 1,0077$) e serviços domésticos ($GD_j = 1,0075$).

Esses setores têm maior sensibilidade ao consumo de água nos coeficientes de consumo direto de bens e serviços em seu processo produtivo; ou seja, quando a demanda dos outros setores aumenta, esses são os setores pressionados a exigir mais recursos hídricos em uma articulação produtiva para trás na estrutura econômica regional.

Em uma análise da elasticidade da demanda por ligações para a frente, as indústrias agrícolas ($\Gamma_i = 1,0081$) e extrativa ($\Gamma_i = 1,0043$) foram os setores econômicos com maior aumento no nível de consumo de água devido ao aumento da demanda hídrica nos demais setores. Nesta mesma análise, o consumo das famílias também mostrou forte sensibilidade quanto à elasticidade da demanda por água dentro da estrutura econômica regional ($\Gamma_i = 1,1078$).

Quadro 6 - Classificação dos setores quanto a elasticidade da demanda por recursos hídricos.

	$\Gamma_{D_i} < \Gamma_T$	$\Gamma_{D_i} > \Gamma_T$
$\Gamma_{D_j} > \Gamma_T$	I Fabricação de veículos; Serviços domésticos; Manutenção, reparação e inst. de máq. e equipamentos; APU; Transporte, armazenagem e correio; Prod. Alimentícios; Produtos de borracha e de material plástico; Construção; Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis; Outras atividades industriais; Prod. Farmoquímicos e farmacêuticos; Máquinas e Equipamentos	II Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas e as Famílias
$\Gamma_{D_j} < \Gamma_T$	III Demais setores	IV Agropecuária e Indústrias Extrativas

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Nesse caso, a demanda de água nesses setores é mais influenciada pela própria demanda do que pela demanda de outros setores. Isso porque são setores que fornecem insumos para os outros setores, pois possuem maior nível de ligação para a frente em seu processo produtivo.

O comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas ($GD_j = 1,0077$; $GD_i = 1,0032$), é o setor-chave do Ceará em relação à elasticidade da demanda de água em conjunto com o consumo das famílias ($GD_j = 0,9997$; $GD_i = 1,0067$) (Tabela 3.3). Isso porque tanto aumentam as pressões sobre o consumo de água e são pressionados a consumir devido ao aumento da demanda de água dos demais setores, devido às suas ligações para frente e para trás na estrutura econômica do estado do Ceará.

Os demais setores da economia são considerados não relevantes porque têm impactos de distribuição avançados e atrasados abaixo da média geral do Estado para um aumento de 1% na demanda final de água.

3.4 Conclusão

Este estudo buscou revelar os setores mais relevantes da estrutura econômica, na perspectiva do uso direto e indireto da água. Também buscamos realizar análises setoriais e intersetoriais do impacto econômico do consumo e da troca de recursos hídricos. O objetivo foi qualificar melhor a tipologia do uso da água e quantificar seu retorno econômico para apoiar a formulação de estratégias pelos tomadores de decisão.

Segundo o MIPRH/CE, o consumo direto de água pelos setores econômicos cearenses soma uma demanda total de água de 1,33 trilhão de m^3 . Entre esses setores, a agricultura tem o maior consumo direto de água bruta com 62,08%, o setor de serviços responde por 30,50%, e, finalmente, o setor industrial consome apenas 7,42%.

Verificou-se que o setor agrícola, apesar de ser reconhecido como um setor que consome uma alta quantidade de recursos hídricos em seus processos produtivos, não era um setor fundamental em termos de fluxos de água. No entanto, teve um dos menores níveis de retorno econômico por cada m^3 de água utilizado entre os setores analisados. Foi um setor importante em termos de ligações para a frente no consumo de água. Além disso, teve forte conectividade com esses setores: domicílios, comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas, e a fabricação de produtos alimentícios.

Por fim, não foi possível realizar uma análise desagregada do setor agrícola considerando que nosso estudo foi baseado na Matriz de Entrada-Produção do Ceará. A matriz fornece apenas dados agregados para o setor agrícola. Deste modo, não foi possível realizar uma análise mais detalhada das atividades produtivas individuais do setor.

Segundo o MIPRH/CE, o consumo intermediário de água pelos setores econômicos

é de 193,47 bilhões de m³. O setor agropecuário consome 37.479.301m³ (19,37%), o setor industrial consome 25.047.820 m³ (12,94%), e o setor de serviços consome 130.944.545 m³ (67,68%).

O consumo intermediário é fortemente influenciado pelas inter-relações dos setores econômicos. De acordo com a análise dos índices Rasmussen e Hirschman em ligações para frente e para trás, apenas os seguintes setores-chave foram identificados em termos de fluxos de água: comércio e reparo de veículos automotores e motocicletas. Trata-se de um forte efeito de articulação, em termos de escoamento de água, por meio da produção e comercialização de bens e serviços na economia regional. Além disso, tem capacidade, acima da média estadual, de contribuir para o crescimento do consumo de água na economia regional.

Os resultados para o índice de ligação para a frente, sugerem que setores com alto nível de ligações para a frente consomem mais água física do que água virtual em seus processos de produção. Portanto, o aumento da produção desses setores tende a exercer maior pressão sobre as fontes de recursos hídricos existentes na região, como barragens e poços, para atender a esse aumento da demanda.

Os setores com fortes ligações para trás em termos de fluxos de água foram a fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias, e outros equipamentos de transporte (1.5180), comércio e reparo de veículos automotores e motocicletas (1.3206) e serviços domésticos (1.3009).

Esses setores têm o seguinte consumo intermediário de água em 149.601 m³ (0,08%), 9.703.543 m³ (5,02%) e 7.968.170 m³ (4,12%), respectivamente. Eles têm forte dependência de recursos gerados por atividades produtivas pertencentes ao próprio setor ou a outros setores da economia.

Durante a análise dos multiplicadores gerais de impacto nas ligações para frente e para trás, o setor de comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas apresentou os maiores multiplicadores (1,41 para frente e 1,86 para trás). Isso indica que o consumo direto de uma unidade de água de 1 m³ por este setor geraria uma demanda final de água de 1,41 m³ e 1,86 m³ em ligações diretas e indiretas, respectivamente.

Na análise do retorno econômico do uso da água entre os setores produtivos, os seguintes setores apresentaram os maiores multiplicadores de produção, emprego e renda: fabricação de veículos automotores, reboques, carrocerias e outros equipamentos de transporte; fabricação de máquinas e equipamentos; fabricação de equipamentos de informática, produtos

eletrônicos e ópticos, máquinas, eletrodomésticos e materiais elétricos; e fabricação de produtos farmacêuticos e farmacêuticos. No entanto, juntos, esses setores representam apenas 0,01% do total de água consumida pelos setores econômicos cearenses.

A elasticidade da demanda hídrica mostrou que o comércio e reparação do setor de veículos automotores e motocicletas ($GD_j = 1,0077$; $GDI = 1,0032$) e consumo das famílias ($GD_j = 0,9997$; $GDI = 1,0067$) são os principais setores da economia cearense. Ou seja, esses setores são mais sensíveis à demanda de água porque ambos pressionam o consumo de água, e são pressionados a consumir água. Isso se deve ao aumento da demanda de água de outros setores devido às suas ligações para frente e para trás na estrutura econômica cearense.

Entre os setores econômicos analisados, o comércio e reparação do setor de veículos automotores e motocicletas pode ser considerado um setor-chave, apresentando Índices de Ligação Rasmussen e Hirschman, Multiplicadores Gerais de Produção, Emprego e Renda, e Elasticidade da Demanda Hídrica acima da média estadual do Ceará. O setor tem um nível de consumo direto de água de 12.019.037 m³ (0,90%) e um nível intermediário de consumo de água de 9.703.543 m³ (5,02%). Notavelmente, este setor tem ligações mais fortes com outros setores da economia do Ceará por meio da prestação de serviços via representantes comerciais e agentes do comércio, sendo estes: Atividades Profissionais, Científicas e Técnicas; Serviços Administrativos e Complementares; Atividades Imobiliárias; Agricultura; e Atividades Financeiras, Seguros e Serviços Relacionados. O setor também é fortemente impactado pelo consumo das famílias.

O consumo das famílias também tem forte influência sobre a demanda por água nos setores produtivos da economia regional cearense. Isso porque o nível de consumo das famílias pode gerar grandes efeitos tanto de ligações para frente quanto para trás com os demais setores. Isso torna o consumo das famílias um fator dinâmico na estrutura econômica regional.

Com o uso dos Índices de Rasmussen e Hirschmann e de multiplicadores gerais de produção, renda e emprego para as ligações para a frente e para trás, foram identificados os setores-chave, com maior potencial para estimular a demanda hídrica no Estado do Ceará. De modo, que estes revelaram, a capacidade desses setores de propagar os efeitos de investimentos ou choques externos na estrutura econômica em uma proporção acima da média de todos os setores produtivos, além de identificar os setores econômicos que consomem direta ou indiretamente um maior volume de água dentro da estrutura produtiva regional, com base em sua tecnologia de produção e padrões de demanda hídrica.

Por exemplo, pode-se investigar quais setores econômicos devem ser avaliados durante uma crise hídrica baseada na integração do abastecimento de água com o planejamento econômico. Assim, tanto o equilíbrio do fluxo de água quanto o uso eficiente da água nos processos produtivos de bens e serviços são importantes para o desenvolvimento regional, dado seus impactos na renda, no emprego e na segurança hídrica.

Além disso, o monitoramento efetivo dos fluxos de água físico e virtual permite uma melhor gestão da água regional disponível, relacionando as forças da demanda de água e da oferta existente de forma compatível com os múltiplos interesses de seus usuários e seus gestores.

Assim, a evolução do crescimento econômico regional deve estar em consonância com a infraestrutura de abastecimento de água existente. O conhecimento tanto dos fluxos físicos quanto virtuais de água, associados ao consumo direto de água por diversos setores econômicos, auxilia na análise da capacidade de apoio hidráulico das redes de distribuição de água (reservatórios, canais, dutos e estações de tratamento), e na gestão do volume de água necessário para atender às demandas da estrutura econômica do estado do Ceará.

Um sistema eficiente de abastecimento de água deve estar associado ao monitoramento das informações de demanda de água em consonância com seu abastecimento. Deve-nos permitir avaliar situações complexas de calibração de pressões, fluxos, níveis de água dos reservatórios, alturas manométricas, fluxos de bombeamento, etc. O objetivo geral deve ser um modelo operacional que busca garantir o abastecimento econômico e seguro de água em áreas urbanas e rurais, sem comprometer o abastecimento e a qualidade dos recursos hídricos.

Nossa metodologia gerou informações úteis para apoiar a gestão e formulação de políticas relativas à alocação de recursos hídricos. Embora os impactos estimados sejam estimativas específicas no tempo e no espaço, eles não estão associados a medidas de incerteza em suas estimativas. Isso é uma limitação do nosso estudo.

Estudos futuros devem discutir medidas políticas para melhorar a gestão da demanda hídrica associada ao desenvolvimento de atividades econômicas. Além disso, é importante considerar uma maior abertura da matriz ao setor agrícola para melhorar a análise de sua cadeia de suprimentos, considerando que este é um dos setores que mais consome recursos hídricos diretamente.

Fica também como sugestão, a realização de um estudo sobre a quebra dos índices do impacto das ligações para frente e para trás e a análise do efeito de transbordamento da

demanda virtual de água pelo comércio inter-regional para analisar a sensibilidade da demanda agregada na economia aos choques externos de oferta e demanda.

4 DINÂMICA ESPACIAL DO CONSUMO DE ÁGUA: UMA ANÁLISE A NÍVEL MUNICIPAL E DE REGIÃO HIDROGRÁFICA

O consumo de água gerado pela estrutura econômica apresenta variação espacial dentro de um território devido à influência de aspectos econômicos e geográficos que impactam a demanda e a oferta de água. Assim, este estudo avaliou a dependência espacial do consumo total de água por meio do uso da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE). Para isto, foi aplicado dois testes estatísticos de autocorrelação espacial, são eles: Índice de Moran Global (I) e o Indicador Local de Associação Espacial (LISA). A estrutura espacial dos dados foi determinada pela matriz de contiguidade espacial tipo Rook. Constatou-se a existência de autocorrelação espacial positiva com base na análise da estatística do Índice I-Moran Global. Observou-se que o consumo não está distribuído de forma homogênea em seu espaço geográfico, evidenciando a formação de clusters de municípios com padrões de agregação Alto-Alto, Alto-Baixo, Baixo-Alto e Baixo-Baixo. Na análise univariada do consumo total de água pelos Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA), identificou-se a existência de clusters de municípios com agregação Alto-Alto para nas Regiões Hidrográficas do Baixo Jaguaribe, Curu, Litoral, Médio Jaguaribe e Bacias Metropolitanas. Já na análise bivariada, entre o consumo total de Água e o Valor Adicionado Bruto dos municípios do Ceará, o padrão de Indicadores Locais Alto-Alto compreendeu municípios do Ceará localizados nas Regiões Hidrográficas do Acaraú, Banabuiú, Baixo Jaguaribe, Litoral, Médio Jaguaribe e Região das Bacias Metropolitanas. A Região Hidrográfica das Bacias Metropolitanas possui o maior consumo de água entre as 12 regiões do Estado, respondendo por 37,1% (493,57 hm³) da demanda total de água pelos setores macroeconômicos do Ceará.

Palavras-chave: Dependência espacial do consumo total de água, Índices de Moran Global, Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA).

4.1 Introdução

A crescente demanda de água associada a urbanização e a variabilidade climática resulta no aumento do estresse hídrico e do risco de escassez em várias regiões do mundo (Carvalho; Souza Filho, 2021). Esta é uma preocupação global, já que a água é um componente essencial para a vida assim como para o desenvolvimento econômico e social (Goswami *et al.*,

2017). Consequentemente, o gerenciamento deste recurso deve ser feito considerando-o como um bem econômico, permitindo o desenvolvimento sustentável (Wang; Li, 2018).

Entende-se por desenvolvimento sustentável como sendo aquele que atende as necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades (Comissão de Brundtland, 1991; Asr *et al.*, 2019). Esta definição é bastante semelhante a um dos objetivos sobre o uso da água encontrados na Lei nº 9.433/97, conhecida como Lei das Águas, que é o de “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” (Brasil, 1997). Portanto, evidencia-se que esses dois conceitos estão atrelados, ou seja, a água deve ser utilizada pela geração atual, mas seu uso deve ser garantido para as gerações futuras de forma sustentável.

Na economia, a água é empregada para subsidiar a produção de bens e serviços voltados para o mercado consumidor, na forma de insumo, sendo, portanto, utilizada como matéria-prima em alguma etapa das cadeias produtivas existentes na estrutura econômica regional (Ferreira *et al.*, 2019).

O insumo água é utilizado tanto na agricultura irrigada, pecuária, pesca e aquicultura, como nos setores da indústria e serviços. De forma que sua indisponibilidade pode causar danos econômicos e sociais que permeiam as áreas da saúde, educação, emprego e renda na sociedade, além de afetar direta ou indiretamente o abastecimento de bens e serviços no mercado (Soares *et al.*, 2021).

Conforme Aalirezai *et al.* (2021), o consumo de água gerado pelas economias de produção apresenta variação espacial dentro de um território devido à, aspectos geográficos e políticos, dado que este sofre influência de aspectos econômicos como a densidade populacional, nível de renda, hábitos de consumo, estrutura de produção, os quais apresentam características específicas em cada região geográfica. Dessa forma, tal situação dificulta a geração de informações necessárias para a elaboração de critérios e indicadores de uso múltiplo da água por unidade territorial voltados para o planejamento, gestão e segurança hídrica regional.

Assim, este estudo propõe o uso da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) para avaliar a dependência espacial do consumo total de água por meio dos testes estatísticos de Autocorrelação Espacial: Índice de Moran Global (I) e o Indicador Local de Associação Espacial (LISA), utilizando um modelo espacial univariado para identificar o grau

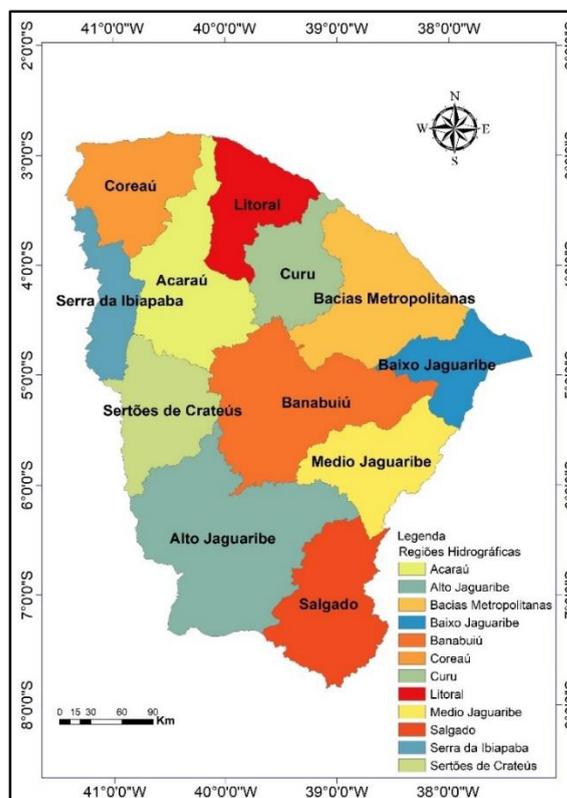
de associação espacial do consumo total de água e um modelo bivariado para identificar a associação espacial entre o Consumo Total de Água gerado pelos setores macroeconômicos (Y) (m^3) e o Valor Adicionado Bruto (VAB) (R\$) de cada município do Ceará.

O estudo foi aplicado para o estado do Ceará, localizado no Nordeste do Brasil. Este Estado é historicamente marcado por secas plurianuais devido está inserido no contexto da região semiárida. Tendo em vista os ciclos de desenvolvimento econômico e social do Ceará foram marcados pela ocorrência de crises hídricas associadas a períodos de secas frequentes no Estado. De modo que o gerenciamento da oferta, demanda e de conflitos é um tripé que deve ser trabalhado para o alcance da segurança hídrica (Souza Filho, 2019).

4.2 Área de aplicação

O Estado do Ceará, possui 12 regiões hidrográficas e 184 municípios (Figura 4.1) distribuídos em uma extensão territorial de 148.894,75 km^2 , contando com uma população estimada de 9.240.580 habitantes no ano de 2021. Seus limites são: ao Norte o Oceano Atlântico, ao Sul o Estado de Pernambuco; a Leste os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, e a Oeste o estado do Piauí (IPECE, 2022).

Figura 10 - Mapa do estado do Ceará por regiões hidrográficas.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Destaca-se que o Ceará possui problemas de escassez hídrica cada vez mais evidentes, onde a ocorrência de secas são frequentes e provocam desabastecimento de água, principalmente para o setor agropecuário. Este cenário de escassez estrutural gera disputa entre os múltiplos usos econômicos associados aos setores produtivos da agricultura, da indústria e dos serviços (Soares *et al.*, 2021).

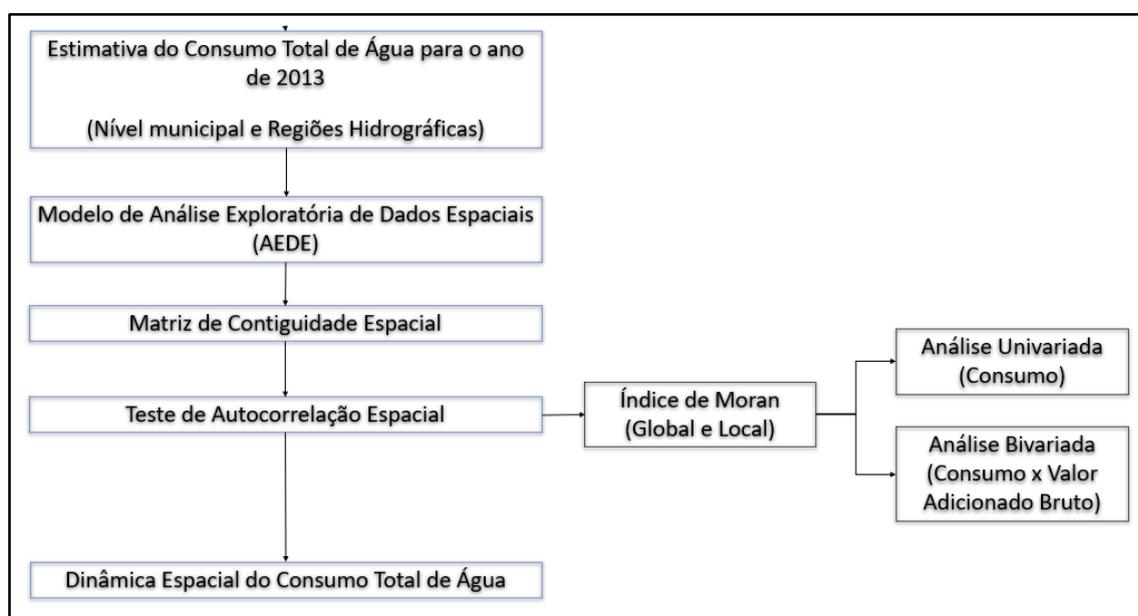
A economia do estado do Ceará participa com 2,21% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, ocupando, em 2019, a décima segunda posição no país e a terceira na região Nordeste, atrás somente da Bahia e de Pernambuco. Em valores nominais, o PIB cearense alcançou um montante de R\$163.575 milhões, com o setor agropecuário respondendo por 5,14%, a indústria por 17,05% e os serviços por 77,8% (IBGE, 2021).

4.3 Metodologia

4.3.1 Estratégia metodológica

As etapas metodológicas desenvolvidas neste estudo estão expostas na Figura 11.

Figura 11 - Estratégia metodológica



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Inicialmente foi obtida a estimativa do consumo de água dos setores macroeconômicos (agropecuária, indústria e serviços), para o ano de 2013, aplicando os coeficientes técnicos híbridos (R\$/m³) calculados a partir da Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos (Capítulo 2) ao Valor Adicionado Bruto (VAB) de cada setor. De forma que a soma desses consumos representou o consumo total.

A seguir, foi aplicado o Modelo de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) sobre os dados de consumo total de água e do Valor Adicionado Bruto municipal, transformados para a forma logarítmica para reduzir a variabilidade entre os dados, aproximar ao padrão da distribuição normal e comparar grandezas diferentes como as variáveis utilizadas neste estudo: consumo total de água gerado pelos setores macroeconômicos, expressa em "m³", e o Valor Adicionado Bruto expresso em "R\$". De modo, que a transformação dos dados para a forma logarítmica permitiu avaliar melhor os efeitos da dependência espacial destas variáveis.

O Modelo de Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) foi construído por meio das seguintes etapas:

- a) Construção da Matriz de Contiguidade Espacial – Esta etapa objetivou construir uma matriz de pesos espaciais com base na interação geográfica entre os municípios vizinhos, partindo do pressuposto de que, quanto mais próximas duas regiões se encontram, maior a interação entre elas;
- b) Análise da presença de Autocorrelação Espacial – Nesta fase foram aplicados os testes estatísticos de Autocorrelação Espacial Global e Local, para verificar a presença de autocorrelação espacial entre os municípios do Ceará, avaliando o consumo total de água de forma univariada e bivariada (Consumo Total de Água gerado pelos setores macroeconômicos (Y) (m³)/Valor Adicionado Bruto (VAB) (R\$), e identificar a existência de padrões de conformação de aglomerações de municípios com similaridades espaciais de acordo com suas regiões hidrográficas;

Para a obtenção dos resultados, foram utilizados os softwares Geoda 1.20.0[®] e Arcgis 10.5[®].

4.3.2 Organização da base de dados e regionalização das informações

Foram utilizadas quatro bases de dados neste estudo. A primeira referiu-se a Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos (ver Capítulo 2). A segunda foi a malha de municípios georreferenciada do Ceará (arquivo shapefile), disponível no site do IPECE (www.ipece.ce.gov.br), permitindo a confecção dos mapas temáticos. A terceira base consiste das informações estatísticas do Valor Adicionado Bruto (VAB) dos setores macroeconômicos dos municípios do estado do Ceará do ano de 2013 (IBGE, 2021). E, a quarta base de dados referiu-se à localização das sedes dos 184 municípios do estado do Ceará (IPECE, 2022), para a estimativa do Consumo Total de Água gerado pelos setores macroeconômicos (Y) do Ceará e dos setores da Agropecuária, Indústria e Serviços para o ano de 2013 por região hidrográfica.

Para tal, foram utilizados coeficientes técnicos de consumo de água calculados no Capítulo 2, a partir da Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do Ceará para o ano de 2013.

O consumo total de água corresponde a soma do consumo de recursos hídricos da agropecuária, indústria e serviço, denominados de setores macroeconômicos. Este foi obtido ao nível municipal e ao nível de região hidrográfica do estado do Ceará.

Para a regionalização ao nível de região hidrográfica, considerou-se o seguinte critério: o município pertence à determinada região hidrográfica sempre que a sede municipal estiver localizada nos limites dessa região.

4.3.3 *Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE)*

Foi realizada a Análise Exploratória dos Dados Espaciais (AEDE) das seguintes variáveis: i) Consumo Total de Água (Y) e ii) Valor Adicionado Bruto (VAB) dos municípios do Ceará. Estes dados foram trabalhados na forma logarítmica, conforme as etapas explicitadas na Figura 4.2. O detalhamento é apresentado a seguir:

4.3.4 *Matriz de contiguidade espacial*

A Matriz de Contiguidade Espacial ou Matriz de Vizinhança (W) é uma matriz quadrada de dimensão $n \times n$ e expressa uma relação matemática que permite a estimativa de pesos espaciais w_{ij} . Estes pesos representam o grau de conexão entre unidades espaciais (por exemplo, municípios) conforme critério de contiguidade.

O critério de contiguidade reflete a posição de uma unidade em relação às demais unidades no espaço, de modo que a matriz W requer informações sobre o tamanho e forma das unidades regionais, e pressupõe que regiões vizinhas, contíguas, apresentem um grau maior de dependência espacial do que as demais. Assim, um conjunto de n unidades espaciais $\{A_1, \dots, A_n\}$, origina a matriz W ($n \times n$), na qual cada um de seus elementos $\omega_{i,j}$ representam uma medida de proximidade entre as áreas A_i e A_j (Medeiros, 2015; Brockwell *et al.*, 2021).

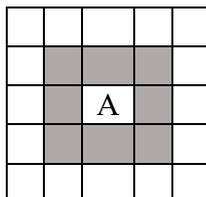
Com base no critério de contiguidade, foi atribuído o valor unitário na matriz a duas regiões vizinhas, caso contrário, atribui-se o valor nulo, isto é,

$$\omega_{i,j} = \begin{cases} 1 & \text{se } i \text{ e } j \text{ são contíguos} \\ 0 & \text{se } i \text{ e } j \text{ não são contíguos} \end{cases} \quad (01)$$

Para definir a fronteira geográfica das unidades espaciais foi utilizado a convenção de contiguidade tipo *Queen* (Rainha) e tipo *Rook* (Torre) (Figuras 11 e 12). A matriz *Queen* considera vizinhas duas regiões que possuam fronteiras comuns, analisando os nós (vértices).

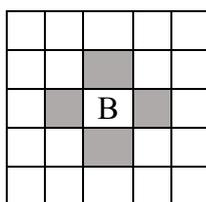
A Matriz *Rook* considera apenas as fronteiras físicas com aquelas unidades espaciais que tenham fronteira em comum (Almeida *et al.*, 2012).

Figura 12 - Convenção de contiguidade tipo Queen (Rainha)



Fonte: Almeida (2012).

Figura 13 - Convenção de contiguidade tipo Rook (Torre).



Fonte: Almeida (2012).

4.3.5 Autocorrelação espacial

A verificação da existência de autocorrelação da distribuição espacial estocástica do logaritmo do consumo total de água (Y) associado às suas localizações foi realizada após a determinação da estrutura espacial pela matriz W, conforme Luzardo *et al.* (2017). Para isso, foi utilizado o Índice de Moran Global (I) e o Índice de Moran Local (I_L).

4.3.5.1 Índice de Moran Global (I)

O Índice de Moran Global (I) foi definido pela equação 02 (Anselin, 1995). Ele averigua a aleatoriedade da distribuição espacial da variável em estudo, pois indica o nível de associação espacial presente em um conjunto de dados especializados conforme as unidades territoriais de uma região (Chao e Xiaojie, 2017).

Para aplicar a equação 02, as matrizes do tipo Queen e Rook foram normalizadas para um vizinho mais próximo (k=1), de modo que a soma dos elementos de cada uma de suas linhas seja igual a 1.

$$I = \frac{n}{\sum_i^n (y_i - \bar{y})^2} \frac{\sum_i^n \sum_j^n \omega_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_i^n \sum_j^n \omega_{ij}} \quad (02)$$

Onde ω_{ij} é o elemento da matriz de contiguidade ou de vizinhança W , y_i é o consumo total de água do município i , y_j é o consumo total de água do município j , \bar{y} é a média amostral e n é o número total de municípios, computando 184 observações.

O nível de significância da estatística Índice de Moran Global (I) foi obtido por meio de técnicas de randomização, utilizando 999 permutações (Medeiros, 2015). Os valores de I que ultrapassam o valor esperado indicam autocorrelação espacial positiva, tendo-se que valores inferiores à média esperada sinalizam uma autocorrelação negativa. Conforme Almeida et al. (2012), tem-se que o Índice de Moran Global (I) possui um valor esperado de $-[1/(n-1)]$, ou seja, o valor a ser obtido caso não houvesse um padrão espacial nos dados.

4.3.5.2 Índice de Moran Local (IL)

Seguindo a metodologia descrita por Medeiros e Neto (2011) e Yuan et al. (2017), foi empregado o Índice de Moran Local como Indicador de Associação Espacial Local (LISA) para complementar a análise do Índice de Moran Global. Conforme Anselin (1995), o Índice Moran Local (IL), calculado a partir do Índice de Moran Global, pode ser definido pela equação 03:

$$I_L = n \frac{z_i \sum_j^n \omega_{ij} z_j}{\sum_j^n z_j^2}, \text{ sendo } Z_i = y_i - \bar{y} \text{ e } Z_j = y_j - \bar{y} \quad (03)$$

Onde, ω_{ij} é o elemento da matriz de contiguidade ou de vizinhança W , y_i é o consumo total de água do município i , y_j é o consumo total de água do município j , \bar{y} é a média amostral do consumo total de água e n é o número total de municípios, Z_i é o valor do desvio entre o consumo total de água do município i e a média amostral do consumo total de água, e o Z_j é o valor do desvio entre o consumo total de água do município j e a média amostral do consumo total de água.

De acordo com Almeida et al. (2012), o coeficiente I de Moran Local faz uma decomposição do indicador global de autocorrelação na contribuição de cada observação em quatro categorias (Quadro 7).

Quadro 7 - Diagrama da representação da associação espacial.

QII - Baixo-Alto	QI - Alto - Alto
QIII - Baixo-Baixo	QIV - Alto-Baixo

Fonte: Adaptado de Medeiros (2015).

Os Quadrantes QI (alto-alto) e QIII (baixo-baixo) representam áreas que contribuem para autocorrelação espacial positiva, já os quadrantes QII e QIV indicam autocorrelação espacial negativa. Na análise proposta, o quadrante QI (Alto-Alto) representa unidades espaciais com alto consumo total de água vizinhos a unidades espaciais com mesmo padrão, caracterizando clusters de maior consumo de água. No que concerne ao quadrante QIII (Baixo-Baixo), localizam-se as unidades espaciais com baixo consumo total de água que possuem de vizinhos com baixo consumo total de água, assinalando clusters de menor consumo de água.

No quadrante superior à esquerda QII (Baixo-Alto), encontram-se as unidades espaciais com baixo consumo total de água, vizinhas de unidades espaciais com alto consumo total de água. Por fim, o quadrante inferior à direita QIV (Alto-Baixo) identifica as unidades espaciais com alto consumo total de água rodeados de unidades espaciais com baixo consumo total de água.

Deste modo, os quatro quadrantes reportam diferentes tipos de dependência espacial, representados num diagrama de dispersão. Caso a nuvem de pontos esteja distribuída nos quatro quadrantes, têm-se indícios de ausência de correlação espacial. Por sua vez, se os valores ficam concentrados em uma diagonal que cruza os quadrantes QI e QIII, existe elevada autocorrelação espacial positiva da variável. Em contrapartida, a dependência espacial será negativa se os valores se concentrarem em uma diagonal que corta os quadrantes QII e QIV (Medeiros, 2015).

4.4 Resultados e discussões

A Tabela 4 exibe o valor do Índice de Moran Global para o consumo total de água usando as matrizes de contiguidade espacial tipo Queen e Rook.

Tabela 4 - Teste do Índice de Moran Global (I) para o Consumo Total de Água (Y) dos municípios do Ceará.

Matriz	Indicador	Índice de Moran Global (I)	P-Valor
Queen	Y (m ³)*	0,304	0,001
Rook	Y (m ³)	0,310	0,001
Queen	Y (m ³) / VAB (R\$)	0,356	0,001
Rook	Y (m ³) / VAB (R\$)	0,359	0,001

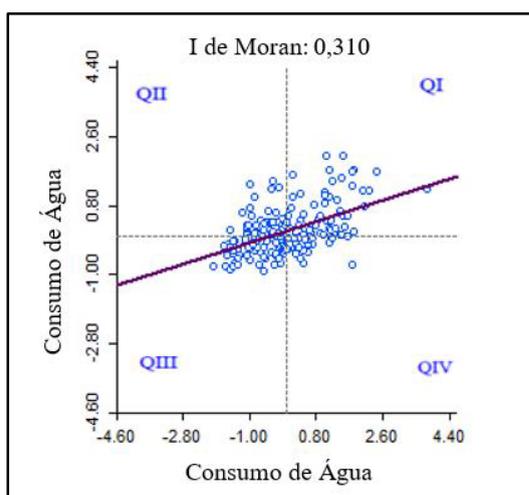
Fonte: Elaborada pelos autores (2023). *Y – consumo total de água

Com base nestas informações, constatou-se que o P-Valor, tanto da matriz tipo Queen como da matriz tipo Rook, em primeira ordem, foram significativos ao nível de 1% para

o consumo total de água gerado pelos setores macroeconômicos (m^3), bem como para a relação: “Consumo Total de Água gerado pelos setores macroeconômicos (Y) (m^3)/Valor Adicionado Bruto (VAB) (R\$)”. Entre estas, a Matriz de Contiguidade Espacial a tipo Rook foi a que apresentou o melhor resultado para o Índice de Moran Global (I), captando uma maior dependência espacial (Tabela 4).

As análises apontam para a existência de autocorrelação global positiva (Figura 14), ou seja, os municípios com altas demandas hídricas geradas pelos setores econômicos dos municípios cearenses são circundados por municípios na mesma situação, enquanto municípios com baixas demandas hídricas geradas pelos setores econômicos são vizinhos de municípios na mesma circunstância, caracterizando assim *clusters* de municípios com alto e baixos níveis de consumo total de água, respectivamente.

Figura 14 - Diagrama de dispersão para o Consumo Total de Água (Y) dos municípios do Ceará.



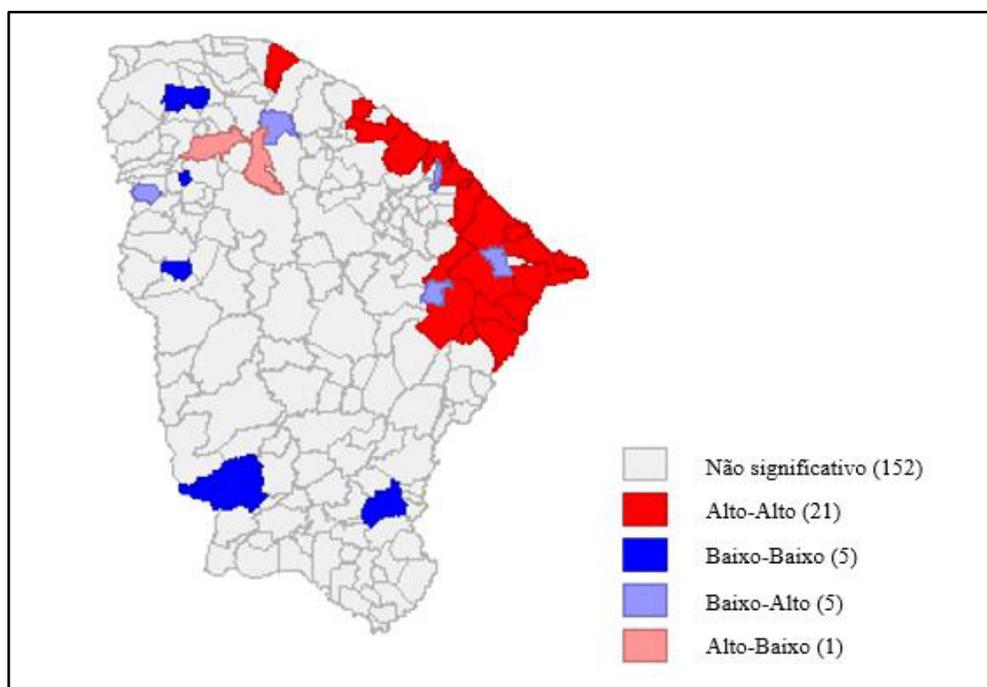
Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A Figura 13 expõe o diagrama de dispersão para o consumo total de água tendo como base o Índice de Moran Global (I) calculado com base na matriz de contiguidade espacial tipo Rook de primeira ordem ($k=1$). Observou-se que a maioria dos municípios estão concentrados em uma diagonal que cruza os quadrantes QI (Alto-Alto) e QIII (Baixo-Baixo), demonstrando uma autocorrelação espacial positiva para a variável em análise. Avaliando a relação entre o Consumo Total de Água (Y) e o Valor Adicionado Bruto (VAB), ($Y m^3/ VAB R\$$), registrou-se uma autocorrelação positiva, ou seja, municípios com alto valores de consumo total de água gerado para cada real (R\$) produzido pelos macros setores econômicos são vizinhos de outros municípios com valores semelhantes (QI). E apontam também que

municípios com baixos valores de consumo total de água gerado para cada real (R\$) produzido pelos macros setores econômicos são circundados por municípios que também consomem pouca água para cada real (R\$) gerado pela economia local (QIII).

Conforme Wang e Wang (2020), estes resultados permitem observar a dinâmica de crescimento dos macros setores econômicos como propulsores do consumo de água municipal, os quais permitem explorar modelagens de políticas públicas e estratégias de desenvolvimento que possibilitam enfrentar um conflito acentuado entre o rápido desenvolvimento econômico e a escassez de água, avaliando a segurança hídrica regional por meio do monitoramento do crescimento econômico em conjunto com o crescimento do uso da água.

Figura 15 - : Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) da análise univariada do Consumo Total de Água (Y).



Fonte: Elaboração dos autores (2023).

Deste modo, a Figura 15, exibe a classificação de municípios cearenses em quatro categoriais quanto à situação do consumo total de água conforme os Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA), para o nível de significância estatística de 5%. A qual demonstra a formação de grupos de municípios com classificação alto-alto, quanto ao consumo total de água gerado pelos macros setores econômicos localizados nas Regiões Hidrográficas do Médio e Baixo Jaguaribe e Região Hidrográfica das Bacias Metropolitanas (Tabela 5).

Tabela 5 - Municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto para o Consumo Total de Água (Y).

Região Hidrográfica	Municípios com LISA Alto-Alto	Consumo de Água (m ³)	% do Consumo de Água		
			Agropecuária	Indústria	Serviços
Acarauá	Sobral	24.947.602	10,5%	36,3%	53,2%
Baixo Jaguaribe	Aracati	35.063.513	84,4%	6,0%	9,6%
	Fortim	10.822.259	96,5%	0,2%	3,2%
	Icapuí	18.666.578	94,8%	2,1%	3,1%
	Jaguaruana	15.255.050	92,6%	2,3%	5,1%
	Limoeiro do Norte	41.858.761	93,6%	0,4%	6,0%
	Quixeré	52.961.807	97,9%	0,2%	1,9%
	Russas	17.422.548	80,6%	6,0%	13,4%
	Tabuleiro do Norte	3.910.192	78,0%	0,9%	21,0%
Curu	Paraipaba	10.594.989	89,9%	2,7%	7,5%
Litoral	Itarema	13.413.208	76,5%	16,7%	6,8%
Médio Jaguaribe	São João do Jaguaribe	4.853.652	95,8%	0,1%	4,1%
Bacias Metropolitanas	Aquiraz	24.354.921	75,6%	8,9%	15,5%
	Beberibe	34.532.920	95,8%	0,4%	3,8%
	Cascavel	16.695.364	78,6%	9,9%	11,5%
	Caucaia	24.135.243	28,5%	21,0%	50,5%
	Eusébio	12.069.211	27,6%	35,5%	36,9%
	Fortaleza	250.191.862	4,4%	9,0%	86,6%
	Maracanaú	26.047.201	2,5%	49,5%	48,0%
	Pindoretama	3.971.859	86,9%	1,9%	11,2%
	São Gonçalo do Amarante	10.676.560	75,0%	5,4%	19,6%

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Nesse contexto, a influência de um município sobre seu vizinho é de suma importância para a gestão e planejamento de recursos hídricos, pois permite identificar níveis de interdependência de consumo de água no estado do Ceará (Barreto, 2007). Assim, pode-se considerar que, em um conjunto de unidades geográficas, com valores similares de consumo de água gerado pelos macros setores econômicos tendem a estar próximos espacialmente, caracterizando um aglomerado (cluster), tendo em vista aspectos que potencialmente afetam a localização geográfica de atividades econômicas, como: nível de urbanização, disponibilidade de mão-de-obra, educação, saúde, segurança, etc. (Lemos, 2005). Conforme Filho (2018), o crescimento das demandas por recursos hídricos no estado do Ceará está associado ao aumento das populações humanas e ao desenvolvimento econômico, notadamente pela expansão da fronteira agrícola com o uso da irrigação e pelo aumento da produção industrial.

Ainda com relação à Figura 15 e Tabela 5, os Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) trazem resultados complementares ao diagrama de dispersão, revelando uma estrutura regional de autocorrelação espacial entre os municípios do Ceará. Estes comparam os valores de cada localização específica com valores de seus vizinhos por meio do indicador de Moran Local, que avalia a significância de agrupamentos espaciais locais, conhecidos como *hot spots*, ao redor de uma localização individual. Ele indica focos (pockets) de não estacionaridade espacial (localizações atípicas) além de indicar a presença de observações discrepantes ou regimes espaciais semelhantes ao uso do Diagrama de Dispersão de Moran.

Tabela 6 - Consumo de água (m³) por setor econômico de acordo com as Regiões Hidrográficas do Ceará, 2013

Região Hidrográfica	Consumo de Água (m ³) Atividades Econômicas	Consumo Agropecuária (%)	Consumo Indústria (%)	Consumo Serviços (%)	População	PIB (R\$1.000,00)
Serra da Ibiapaba	57.326.847	91,9%	0,4%	7,7%	189.202	1.314.486
Acarauá	107.513.602	66,4%	9,8%	23,8%	788.894	6.800.834
Alto Jaguaribe	74.946.288	80,2%	1,5%	18,2%	553.698	3.742.274
Baixo Jaguaribe	199.172.345	91,8%	2,1%	6,1%	338.415	3.999.604
Banabuiú	60.096.668	75,5%	5,4%	19,1%	470.077	3.299.111
Coreaú	69.878.016	86,8%	1,1%	12,1%	377.980	2.394.401
Curu	57.982.454	77,6%	8,3%	14,1%	351.121	2.484.373
Litoral	61.834.982	69,0%	18,3%	12,7%	328.955	2.632.952
Médio Jaguaribe	45.827.669	91,0%	0,6%	8,4%	172.196	1.222.573
Salgado	88.822.096	58,1%	3,4%	38,5%	939.013	7.808.124
Sertões de Crateús	14.715.787	68,4%	4,6%	27,0%	170.852	975.779
Bacias Metropolitanas	493.570.148	32,8%	12,0%	55,2%	4.098.173	72.362.045
Ceará	1.331.686.903	62,02%	7,48%	30,50%	8.778.576	109.036.556

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Foi identificado entre as seguintes regiões hidrográficas: Baixo Jaguaribe (199,17 hm³; 15,0%), Curu (57,98 hm³; 4,4%), Litoral (61,83 hm³; 4,6%), Médio Jaguaribe (45,82 hm³; 3,4%) e Bacias Metropolitanas (493,57 hm³; 37,1%), municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto para o consumo total de água.

As Regiões Hidrográficas do Baixo e Médio Jaguaribe concentram mais de 60% da área irrigada do Estado, sendo que a Região Hidrográfica do Médio Jaguaribe abriga o Açude Castanhão, que possui uma capacidade de armazenamento hídrica de 6,7 hm³ (ADECE, 2015; IPECE, 2021). Elas possuem a agropecuária como principal setor macroeconômico consumidor de recursos hídricos.

Conforme Filho (2018), a região Hidrográfica do Baixo Jaguaribe é caracterizada pela presença dos seguintes perímetros irrigados: Chapada do Apodi (1ª Etapa), Quixeré, Santo Antônio de Russas, Altinho e Chapadão de Russas. E a região Hidrográficas do Médio Jaguaribe por comportar os perímetros irrigados: EMA, Jaguaruana, Niterói, Xique-xique e Chapada do Apodi (2ª Etapa). De modo que essas regiões apresentam grande parte de sua demanda hídrica originada no setor agropecuário, principalmente na agricultura irrigada. Sendo que o setor agropecuário do Baixo e Médio Jaguaribe, responde, respectivamente, por 91,8% e 91% da demanda hídrica total da estrutura econômica regional.

Moura e Paiva (2018), relatam que banana, mamão, melão, melancia e arroz são as culturas que se destacam nas regiões hidrográficas do Baixo e Médio Jaguaribe. Além disso, muitas dessas culturas suprem o mercado externo, contribuindo para o Valor Adicionado Bruto destas regiões, mas também são culturas que utilizam o sistema de irrigação em seus modelos de cultivo, portanto, consomem muita água.

Quanto a Região Hidrográfica das Bacias Metropolitanas, esta cumula apenas 871 hm³ de água, o que não é suficiente para suprir a demanda hídrica da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) que se encontra inserida em seu território.

De acordo com o Relatório do Produto Interno Bruto dos Municípios do Estado do Ceará elaborado pelo IPECE (2021), a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) tem como principais atividades macroeconômicas, os setores de serviço e indústria, tendo respondido, em 2013 por 66,4% do PIB total do Ceará. Os quais respondem juntos por 67,2% da demanda hídrica econômica da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF).

Observando as estimativas de demanda hídrica pelos Setores Econômicos da região das Bacias Metropolitanas, verificou-se que o setor de Serviços foi o principal consumidor de água, responsável em 2013 por 55,2% do volume consumido na região. Essa participação no consumo de água releva a importância econômica que este setor possui na região.

Ainda sobre a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), de acordo com Ataliba (2021), ela está entre as 10 regiões com maior participação na economia do país e possui um Produto Interno Bruto (PIB) em torno de R\$ 67 bilhões, sendo o maior PIB entre as regiões metropolitanas do Nordeste. A RMF possui uma demanda hídrica da ordem de 13,15 m³/s, sendo 1,33 m³/s, pertencentes ao Complexo Industrial do Porto do Pecém (Lôbo Neto, 2020).

Para dar suporte a essa demanda gerada por suas atividades produtivas da RMF, a região das Bacias Metropolitanas conta com o sistema Jaguaribe–Metropolitano, conhecido

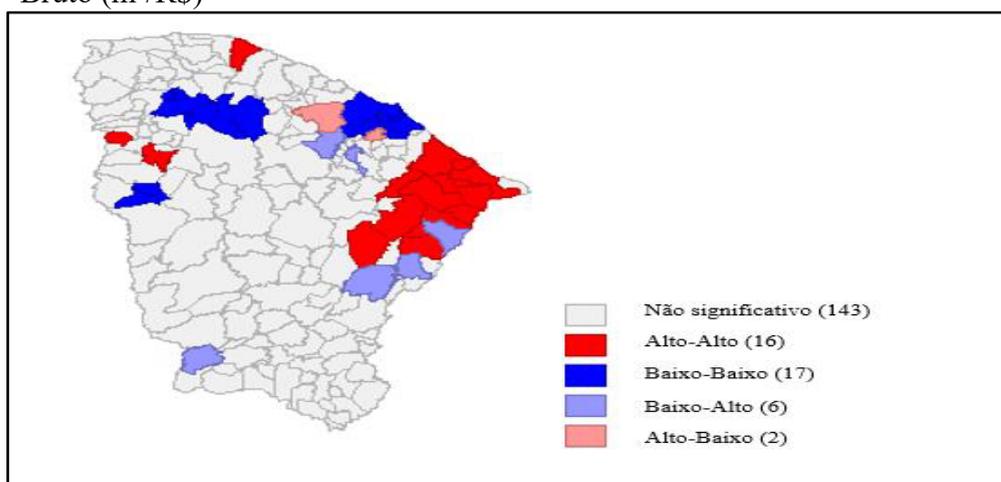
como Eixão das Águas, o qual pode realizar uma transferência máxima de 8,0 m³/s da Bacia do Jaguaribe para as Regiões Metropolitanas. Sendo que parte desta transferência hídrica é feita por meio de uma estação elevatória e um canal de adução conhecido como Canal do Trabalhador (Silva *et al.*, 2017; COGERH, 2022).

No caso da região hidrográfica do Litoral, esta apresentou o setor da indústria como maior consumidor de recursos hídricos, representando 18,3% de seu consumo total de água em seus processos produtivos. Na qual estão instaladas indústrias extrativistas mineral e indústrias de Alimentos e Bebidas e de Couro e Calçados. Outra bacia hidrográfica que também possui uma demanda hídrica expressiva por parte do setor da indústria são as Regiões Metropolitanas, com uma participação de 12,0%, onde se encontra a capital e os complexos industriais de Maracanaú e Portuário do Pecém.

O padrão de Indicadores Locais Alto-Alto compreendeu municípios do Ceará localizados nas Regiões Hidrográficas do Acaraú, Banabuiú, Baixo Jaguaribe, Litoral, Médio Jaguaribe e Região das Bacias Metropolitanas (Tabela 7 e Figura 16).

Avaliando os níveis de consumo de água dos municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto, verificou-se que o setor agropecuário apresentou o maior nível de demanda hídrica, com exceção dos municípios de Caucaia, Eusébio, Fortaleza e Maracanaú, onde os setores da Indústria e serviços são apontados como os principais setores de produção consumidores de água (Tabela 8). As principais atividades produtivas demandantes de água do setor agropecuário são as Lavouras, Aves e Ovos, e a Pesca e Aquicultura, conforme resultados obtidos no Capítulo 2.

Figura 16 – Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) da análise bivariada da relação entre o consumo total de água (Y) e o Valor Adicionado Bruto (m³/R\$)



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Tabela 7 - Municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto para a relação entre o Consumo Total de Água e o Valor Adicionado Bruto.

Região Hidrográfica	Municípios com LISA Alto-Alto	Água (m³) /R\$	Consumo de Água (m³)	Valor Adicionado Bruto (R\$)
Acaraú	Ipu	26,71	6.587.926	246.641,30
Banabuiú	Morada Nova	31,54	18.492.295	586.286,80
Baixo Jaguaribe	Aracati	38,63	35.063.513	907.584,12
	Fortim	96,71	10.822.259	111.904,90
	Itaiçaba	28,73	1.181.390	41.120,91
	Jaguaruana	58,53	15.255.050	260.626,62
	Limoeiro do Norte	57,00	41.858.761	734.417,25
	Palhano	40,13	2.030.245	50.594,53
	Russas	112,21	52.961.806,70	471.998,21
	Quixeré	25,96	17.422.547	671.232,97
Serra da Ibiapaba	Carnaubal	29,91	2.592.876	86.679,71
Litoral	Itarema	40,17	13.413.208	333.898,96
Médio Jaguaribe	Alto Santo	56,09	5.594.591	99.736,11
	Jaguetama	22,94	2.369.362	103.283,13
	São João do Jaguaribe	68,52	4.853.652	70.835,60
Metropolitana	Beberibe	71,75	34.532.920	481.299,03

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

A Figura 16 exibe a classificação de municípios cearenses quanto aos Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) para a relação entre o consumo total de Água e o Valor Adicionado Bruto dos municípios do Ceará com significância estatística ao nível de 5%.

Observou-se que a relação Y/VAB (m³/R\$) é fortemente impactada pelo setor agropecuário existente, tendo em vista, que este setor produtivo é composto por atividades que demandam grandes volumes de água e possuem pequena participação no Valor Adicionado Bruto municipal.

Tabela 8 - Níveis de consumo de água por tipo de atividade econômica dos municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto.

Município	Consumo de Água (m³) da agropecuária	Lavouras	Criação Animal	Leite	Aves e Ovos	Pesca e Aquicultura	Silvicultura e Extração Vegetal
Aracati	29.585.658	19,1%	0,4%	0,1%	0,4%	80,0%	0,0%
Fortim	10.447.356	9,3%	0,3%	0,1%	0,2%	90,1%	0,0%
Icapuí	17.696.496	53,0%	0,4%	0,1%	0,2%	46,3%	0,0%
Jaguaruana	14.129.680	32,3%	2,0%	0,5%	1,3%	63,9%	0,0%
Limoeiro do Norte	39.176.629	96,7%	1,3%	1,0%	0,2%	0,7%	0,0%
Quixeré	51.837.976	99,5%	0,2%	0,1%	0,1%	0,2%	0,0%
Russas	14.037.250	93,5%	2,4%	0,6%	0,8%	2,6%	0,1%
Tabuleiro do Norte	3.050.213	77,9%	10,3%	5,9%	2,4%	3,2%	0,4%
Paraipaba	9.519.627	50,3%	1,0%	0,6%	3,6%	44,6%	0,0%
Itarema	10.255.162	15,3%	1,0%	0,3%	2,2%	81,2%	0,0%
São João do Jaguaribe	4.649.726	92,6%	3,0%	1,4%	1,1%	1,9%	0,1%
Aquiraz	18.407.109	10,4%	0,7%	0,3%	80,4%	8,1%	0,0%
Beberibe	33.085.594	35,3%	0,5%	0,1%	29,4%	34,7%	0,0%
Cascavel	13.118.343	23,9%	0,9%	0,2%	31,3%	43,7%	0,0%
Caucaia	6.887.409	26,0%	5,8%	3,9%	31,9%	32,5%	0,0%
Eusébio	3.336.175	20,2%	0,7%	0,4%	68,7%	9,9%	0,0%
Fortaleza	10.910.325	41,0%	0,5%	0,4%	0,6%	57,5%	0,0%
Maracanáu	655.661	79,8%	4,5%	2,2%	13,5%	0,0%	0,0%
Pindoretama	3.450.609	24,4%	0,9%	0,3%	72,2%	2,2%	0,0%
São Gonçalo do Amarante	8.008.642	13,4%	1,6%	0,5%	67,2%	17,1%	0,2%

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

4.5 Conclusões

Em termos de análise espacial, constatou-se a existência de dependência espacial para o consumo total de água entre os municípios do estado do Ceará com base na análise da estatística do Índice I-Moran Global, de forma que há municípios que possuem uma autocorrelação espacial positiva.

Verificou-se também, por meio dos Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA), a existência de *Clusters* de municípios com agregação Alto-Alto para a análise univariada do consumo total de água nas Regiões Hidrográficas do Baixo Jaguaribe, Curu, Litoral, Médio Jaguaribe e Bacias Metropolitanas. Onde o setor Agropecuário é o setor econômico que apresenta uma maior demanda por recursos hídricos no estado do Ceará, seguido pelo setor de Serviços e da Indústria.

Quanto aos Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) para a análise bivariada entre o consumo total de Água e o Valor Adicionado Bruto dos municípios do Ceará, o padrão de Indicadores Locais Alto-Alto compreendeu municípios do Ceará localizados nas Regiões Hidrográficas do Acaraú, Banabuiú, Baixo Jaguaribe, Litoral, Médio Jaguaribe e Região das Bacias Metropolitanas. Ou seja, o consumo total de água destes municípios sofre influência das atividades econômicas desenvolvidas nos municípios vizinhos.

Observou-se que, tanto a análise univariada do consumo total de água, como a análise bivariada entre o consumo total de Água e o Valor Adicionado Bruto dos municípios do Ceará, não apresentaram um padrão de distribuição espacial homogêneo em seu espaço geográfico para o ano de 2013. Indicando, portanto, a formação de *Clusters* de municípios com padrões de agregação Alto-Alto, Alto-Baixo, Baixo-Alto e Baixo-Baixo.

A Região Hidrográfica das Bacias Metropolitanas possui o maior consumo de água entre as 12 regiões do Estado, respondendo por 37,1% (493,57 hm³) da demanda total de água pelos setores macroeconômicos do Ceará.

Assim, entre as conclusões deste estudo, está a percepção do padrão espacial do consumo total de água captado pela Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), que permite ao sistema de planejamento e gestão de recursos hídricos a realização de um mapeamento do grau de associação existente entre municípios do Ceará para o consumo total de água no Estado. De modo que, municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto, possuem elevados níveis de consumo total de água e sofrem influência fluxos hídricos gerados por municípios vizinhos na mesma situação.

Dado os resultados obtidos, foi observado a necessidade da realização de trabalhos futuros que analisem os fluxos de água virtual pelo comércio de bens e serviços, visando identificar, quantificar e qualificar os fluxos hídricos existentes entre os municípios que possuem um padrão de Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto.

5 AVALIAÇÃO DOS FLUXOS DE ÁGUA VIRTUAL ENTRE OS SETORES MACROECONÔMICOS DO CEARÁ

Os setores econômicos consomem água como insumo durante a produção de bens e serviços em suas cadeias produtivas, e com isso geram fluxos de água virtual tanto por suas estruturas de produção como por suas transações comerciais ao nível regional e inter-regional. Deste modo, este estudo identificou e avaliou os fluxos de água virtual aplicando um modelo de análise multirregional de entradas-saídas combinando a teoria de redes, a matriz insumo-produto de recursos hídricos e modelos de econometria espacial. A Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos foi utilizada em conjunto com a base de dados das Notas Fiscais da Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará - SEFAZ-CE para a identificação da rede de comércio e para a obtenção dos fluxos de água virtual. Os modelos de econometria espacial visaram a análise do nível de sensibilidade da cadeia de valor formada pelo Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas de Fluxos de água Virtual com a abordagem de Rede Complexa, ao mensurar a intensidade do nível de impacto que cada setor macroeconômico exerce sobre a demanda de recursos hídricos ao nível municipal e de região hidrográfica. Dentre os resultados obtidos, destacam-se três: 1) a região hidrográfica das Bacias Metropolitana concentra 73,0% dos fluxos de saídas de água virtual e 72,3% dos fluxos de entrada, gerados por meio das transferências hídricas via transações comerciais intra e inter-regional no Ceará; 2) as atividades econômicas que exportam um maior volume de fluxos de água virtual são: pecuária, inclusive o apoio a pecuária; comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores; produção florestal, pesca e aquicultura, e abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca, 3) os municípios de Fortaleza (179.891.952 m³), Maracanaú (35.842.056 m³) e Aquiraz (25.397.696 m³), foram os que apresentaram o maior volume de saída de água virtual, 4) os modelos econométricos evidenciaram que variações positivas no nível de produção dos setores econômicos: agropecuária, indústria e serviços resultam em variações positivas no consumo econômico de água nos municípios do estado do Ceará. A região das Bacias Metropolitanas possui a maior centralidade na distribuição tanto dos fluxos de entrada como os de saída de água virtual no estado do Ceará.

Palavras-chave: Teoria de redes complexas, Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas de Fluxos de água Virtual, Econometria Espacial.

5.1 Introdução

Na visão macroeconômica, o conhecimento da demanda perpassa pela identificação dos fluxos de água intra e inter-regionais gerados pela rede de comércio de bens e serviços (Lin *et al.*, 2019; Zhao *et al.*, 2019). Esses fluxos são denominados de água virtual (Distefano *et al.*, 2018). Chen e Li (2015), ressaltam que a água virtual permite avaliar a dependência de uma região por recursos hídricos ao identificar do volume de água incorporado na produção de bens e serviços e por meio de suas transações comerciais, que transportam essa água virtual para outras regiões. Assim, o uso desse conceito para a gestão integrada de recursos hídricos direciona a atenção às inter-relações entre o consumo de água, a estrutura de produção, o comércio de bens e serviços, e o grau de dependência e transposição de água via oferta e demanda de bens e serviços, possibilitando desta maneira identificar e eliminar os usos improdutivos de água e melhorar a segurança hídrica local (Bekchanov *et al.*, 2017).

Deste modo, os fluxos de água virtual têm sido investigados por meio das seguintes abordagens: análise estrutural com o uso da matriz insumo-produto (Feng *et al.*, 2011; Setlhogile *et al.*, 2016; Ma *et al.*, 2019); modelo multirregional de entradas e saídas que utiliza análise matricial para identificar os fluxos de comércio inter-regional de bens e serviços entre os centros de produção e consumo (Velázquez, 2006; Zhang, Anadon, 2014; Bekchanov *et al.*, 2017; Zhao *et al.*, 2019); análise de rede de entrada e saída pelo comércio internacional (Wang *et al.* 2019; Garcia, Mejia, 2019; Tian *et al.*, 2019; Zai *et al.*, 2019; Lan, Liu, 2019); e, análise de decomposição estrutural com teoria de redes (Distefano *et al.*, 2018; Wang, Wang, 2020).

Existem também outras aplicações do conceito de água virtual em estudos ao nível de setores econômicos regionais e multirregionais. Boudhar *et al.*, (2017), verificaram os fluxos de água virtual e seus impactos no Produto Interno Bruto. Deng et al. (2015), avaliaram a disponibilidade hídrica regional. Lin *et al.* (2019), observaram os fluxos de água virtual pelo comércio de energia elétrica entre as províncias chinesas. Ussami *et al.* (2017), fizeram a análise econômica da dependência hídrica entre regiões de São Paulo no Brasil por meio do modelo Insumo-Produto Inter-regional. Nawab *et al.* (2019), caracterizaram as redes de fluxos de comércio internacional de produtos ligados ao setor industrial de Shanghai, na China.

As metodologias de análise e identificação desses fluxos ainda estão em processo de desenvolvimento, apesar da ampla aplicação do conceito. Deste modo, este estudo propõe-se a identificação e avaliação dos fluxos de água virtual aplicando um Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas com a abordagem de Rede Complexa, combinando a teoria de redes, a matriz insumo-produto de recursos hídricos e modelos de econometria espacial. A

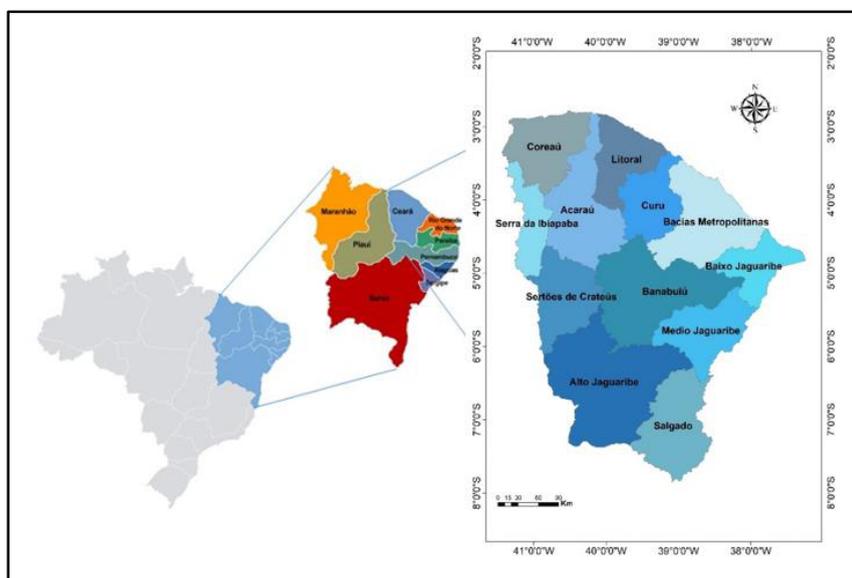
análise foi aplicada para o estado do Ceará, localizado no nordeste do Brasil. Ela foi realizada ao nível municipal e utilizando os setores da agropecuária, indústria e serviços. A Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos (Soares *et al.*, 2021) foi utilizada em conjunto com a base de dados das Notas Fiscais da Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará - SEFAZ-CE para a identificação da rede de comércio e para a obtenção dos fluxos de água virtual.

Os modelos de econometria espacial visaram a análise do nível de sensibilidade da cadeia de valor formada pelo Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas de Fluxos de água Virtual com a abordagem de Rede Complexa, ao mensurar a intensidade do nível de impacto que cada setor macroeconômico exerce sobre a demanda de recursos hídricos ao nível municipal e de região hidrográfica. Deste modo, a geração dessas informações, possibilita uma melhor análise da segurança hídrica local e regional, permitindo o entendimento do nível de encadeamento do consumo de água virtual entre as atividades econômicas, bem como, a estimativa de seus impactos na estrutura econômica.

5.2 Área de aplicação

O estudo foi aplicado para o estado do Ceará, localizado na região Nordeste do Brasil. Este estado possui 12 bacias hidrográficas e 184 municípios (Figura 5.1) distribuídos em uma extensão territorial de 148.894,75 km², contando com uma população estimada de 9.240.580 habitantes no ano de 2021. Seus limites são: ao Norte o Oceano Atlântico, ao Sul o Estado de Pernambuco; a Leste os estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, e a Oeste o estado do Piauí (IPECE, 2021).

Figura 15 - Mapa do estado do Ceará por regiões Hidrográficas.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

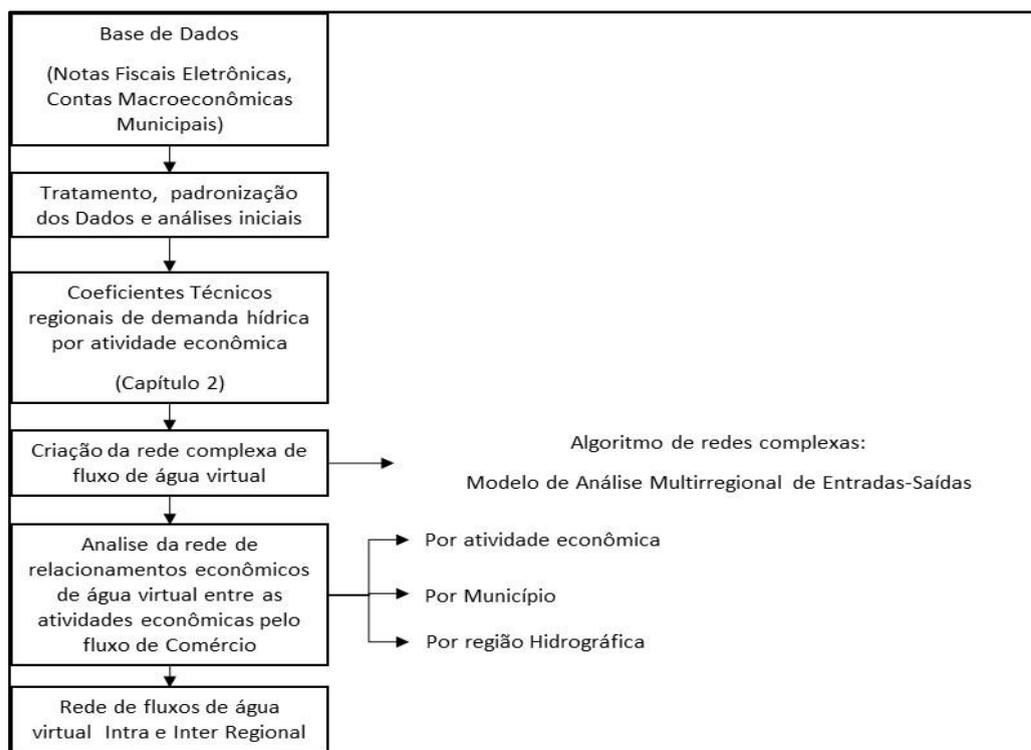
Destaca-se que o Ceará possui problemas de escassez hídrica cada vez mais evidentes, onde a ocorrência de secas são frequentes e provocam desabastecimento de água, principalmente para o setor agropecuário. Este cenário de escassez estrutural gera disputa entre os múltiplos usos econômicos associados aos setores produtivos da agricultura, da indústria e dos serviços (Soares *et al.*, 2021).

A economia do estado do Ceará participa com 2,21% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, ocupando, em 2019, a décima segunda posição no país e a terceira na região Nordeste, atrás somente da Bahia e de Pernambuco. Em valores nominais, o PIB cearense alcançou um montante de R\$163.575 milhões, com o setor agropecuário respondendo por 5,14%, a indústria por 17,05% e os serviços por 77,8% (IBGE, 2021).

5.3 Metodologia

A construção do Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas de Fluxos de água virtual intra e inter-regional permitiu identificar os relacionamentos dos fluxos hídricos entre as atividades econômicas, de forma direcionada, com base nos registros de entradas e saídas de água virtual gerada pelo fluxo de comércio.

Figura 17 - Estratégia metodológica: modelo de análise multirregional de entradas-saídas.



Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Dessa forma, o estudo utilizou os seguintes passos: (i) identificação da rede de comércio de bens e serviços; (ii) aplicação do Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas de fluxos de água virtual por meio do algoritmo de redes complexas; (iii) Análise da sensibilidade da cadeia de valor utilizando modelos de econometria espacial

5.3.1 Identificação da rede de comércio de bens e serviços

Inicialmente foi realizada a construção de um Bigdata da rede de comércio de bens e serviços do Ceará a partir de informações setoriais contidas em uma base de dados de Notas Fiscais Eletrônicas (NFe) do Estado, a qual contém mais de 100 milhões de registros. Para tal, também foram coletadas informações contidas nas bases de dados das Contas Macroeconômicas Regionais, Contas Municipais do Ceará e da Matriz Insumo-Produto Regional do Estado, de 2013.

Após a identificação da rede de comércio de bens e serviços do Ceará, foram aplicados os Coeficientes Técnicos Regionais de demanda hídrica (ver Capítulo 2), gerados a partir da Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE) para cada atividade econômica mapeada, com o intuito de mensurar os fluxos de água virtual entre os 184 municípios e as 12 regiões hidrográficas do Estado do Ceará.

Para tratar a base de dados originária das Notas Fiscais, realizou-se a checagem e validação dos códigos dos municípios, produtos e atividades produtivas e agregação dos dados por atividade econômica com base na Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE), atualmente a CNAE 2.0, adotado pelo IBGE, órgão oficial de estatística do Brasil, de modo que suas informações ficassem compatíveis com as informações contidas na Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará de Recursos Hídricos do Ceará (MIPRH/CE). Foi utilizada, também, a classificação de atividades econômicas NCM - Nomenclatura Comum, do Mercosul, adotada pela Secretaria da Fazenda do Estado do Ceará - SEFAZ-CE para emissão das Notas Fiscais Eletrônicas. Sendo que esta classificação é a mais adequada para a representação do processo produtivo e para a análise dos fluxos de bens e serviços (IPECE, 2018a).

Desse modo, a organização dos dados considerou 67 atividades econômicas distribuídas entre os setores macroeconômicos da agropecuária, indústria e serviços, de forma que fosse possível evidenciar sua inter-relações na estrutura produtiva do Estado, permitindo a avaliação da contribuição de cada uma nos fluxos de água virtual pela rede de comércio. E em termos de unidades espaciais, foram considerados os 184 municípios e as 12 regiões hidrográficas do estado do Ceará.

5.3.2 Modelo de análise multirregional de entradas-saídas

Para a identificação dos fluxos de água virtual foi aplicado o Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas à rede de comércio de bens e serviços, utilizando os coeficientes técnicos de demanda hídrica por atividade econômica, obtidos pela Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos (ver Capítulo 2). De acordo com Zhang e Anadon (2014) e Tang *et al.* (2019), essa abordagem baseada em análise multirregional de entradas-saídas utiliza o conceito de redes complexas, facilitando a identificação do volume dos fluxos de água virtual ao nível regional, por unidade espacial (município e região hidrográfica) e por atividade econômica. Sendo este, um modelo que capta as características específicas entre as diferentes regiões, ao quantificar as inter-relações dos fluxos de água virtual, a partir das Notas Fiscais Eletrônicas.

Ressalta-se que para obter a espacialização dos fluxos de água virtual por região hidrográfica, considerou-se o seguinte critério: um município pertence a determinada região hidrográfica sempre que a sede deste município estiver localizada nos limites dessa região.

Quanto aos fluxos de água virtual captados pela rede de comércio, dado que estes possuem um número alto de conexões, e que estas conexões são difíceis de serem visualizadas. Foi aplicado o algoritmo de redes complexas - Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas, para a identificação e avaliação dos fluxos de água virtual, combinado Teoria das Redes, análise estrutural da economia do estado do Ceará (MIPRH – Ceará) e modelos de econometria espacial, para mapear e representar os dados dessa rede, de forma, que este permita a observação direta das conexões dominantes por unidade de território e por atividade econômica.

Desta forma, a aplicação do algoritmo possibilitou a identificação, tanto das atividades econômicas como das unidades espaciais que possuem um maior volume de fluxos de água virtual na rede de comércio do Ceará, isto é, os “*hubs*” de fluxos de água virtual chamados neste estudo de elos da cadeia de valor formada pela rede de comércio do estado do Ceará. Esta cadeia de valor caracteriza-se por ser simplificada, não direcionada e de abrangência interna máxima.

Com base nos modelos empregados por Zhang e Anadon (2014) e Tang *et al.* (2019), foi aplicado o Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas (APÊNDICE I) do ponto de vista regional e setorial. A elaboração desse modelo assumiu os seguintes preceitos: i) os modelos multirregionais de entrada-saída são uma extensão dos modelos de Input-Output de região única, pois refletem o comércio inter-regional de bens e serviços, ii) os recursos

correspondentes e os impactos ambientais resultantes das atividades de consumo em uma região podem ser atribuídos a setores de produção específicos existentes em outras regiões, por meio da cadeia de abastecimento inter-regional, iii) foram considerados os 184 municípios do estado do Ceará, como unidades territoriais. Sendo que cada uma destas unidades territoriais pode estar desenvolvendo N atividades econômicas dentre as 67 atividades econômicas consideradas neste trabalho (APÊNDICE J), iv) foi considerado, que a produção de cada atividade econômica é homogênea entre as unidades territoriais avaliadas.

Assim, para a identificação dos fluxos de água virtual incorporados pela rede de comércio, utilizou-se a seguinte formulação (Tang *et al.*, 2019):

$$G = (Aw^*) \quad (01)$$

Onde G, representa os fluxos de água virtual incorporados pela rede de comércio, A é a expressão dos nós da rede. E w^* , representa um vetor de linha $1 \times (N \times R)$ de coeficientes técnicos de consumo de água ($R\$/m^3$) por atividade econômica e por unidade territorial.

O conjunto de nós Aw^* , representam G^{rs} e G^{ij} . Onde $G^{rs} = \{A^{rs}w^*\}$, são os fluxos de água virtual incorporada pela região r para a região s, e $G^{ij} = \{A^{ij}w^*\}$, são os fluxos de água virtual incorporada pela atividade econômica i, e enviada para a atividade econômica j.

5.3.3 Análise da sensibilidade da cadeia de valor

A análise da sensibilidade da cadeia de valor pretende estimar parâmetros estruturais da economia do estado do Ceará por meio de modelos de econometria espacial que visam mensurar a intensidade do nível de impacto que cada setor macroeconômico (agropecuária, indústria e serviços) exerce sobre a demanda de recursos hídricos municipal devido seus desempenhos econômicos. Tendo como princípio básico, encontrar instrumentos válidos para a identificação de causalidade da dinâmica da estrutura econômica com a demanda de recursos hídricos na produção de bens e serviços de forma especializada.

Para tal, Anselin (2003) e Almeida (2012) especificam os seguintes procedimentos para a seleção de um modelo que considera a presença da autocorrelação espacial:

- a) Estimar o modelo de regressão clássico linear por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) e os de regressão espacial: Modelo de Defasagem Espacial (MDE) e Modelo de Erro Espacial (MEE), com base na Matriz de Contiguidade;

- b) Aplicar o teste I de Moran para os resíduos gerados pelo modelo MQO para verificar a existência de autocorrelação;
- c) Testar a hipótese de ausência de autocorrelação espacial devido a uma defasagem ou a um erro por meio do multiplicador de Lagrange para a defasagem espacial ($MRL\rho$) e o multiplicador de Lagrange para o erro espacial ($MRL\lambda$);
- d) Caso ambos os testes forem não significativos, deve-se utilizar o modelo clássico; caso contrário, segue-se o próximo passo;
- e) Se ambos os testes forem significativos, deve-se verificar o Multiplicador de Lagrange Robusto para a Defasagem Espacial ($MRL\rho$) e o Multiplicador de Lagrange Robusto para o Erro Espacial ($MRL\lambda$).
- f) Caso $MRL\rho$ seja maior que $MRL\lambda$ identifica-se o MDE como o mais apropriado. Caso contrário, adota-se o MEE.

O modelo por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO) segue a estrutura do modelo clássico de regressão linear, estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) (Gujarati, 2011). Esse modelo pode ser representado como:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + u \quad (02)$$

Onde:

Y: é um vetor N por 1 de observações da variável dependente (Consumo Total de água pelos macros setores econômicos);

β : é um vetor de coeficientes a serem estimados;

X: é uma matriz com N observações por K variáveis explicativas (Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário, Valor Adicionado Bruto do setor da Indústria e Valor Adicionado Bruto do setor de Serviços);

u: é um vetor de erros, que se supõe seguir a distribuição normal, com média zero, variância constante e ($u \sim N(0, I\sigma^2)$), e não se correlacionar com outros erros ($E(u_i, u_j) = 0$, para $i \neq j$), e tampouco com as variáveis explicativas.

Para medir o grau de multicolinearidade entre as variáveis explicativas do modelo, um problema que pode afetar a estimação e a interpretação dos coeficientes de regressão, tornando-os instáveis e imprecisos, foi utilizado o Número de Condição (CN). De acordo com essa abordagem, o grau de multicolinearidade entre as variáveis explicativas é considerado

fraco se $NC \leq 100$, moderado se $100 \leq NC \leq 1.000$, e severo quando $NC > 1.000$ (Salvian, 2016).

O Número de Condição é calculado pela razão entre o maior e menor autovalor (λ) da Matriz de Correlação $X'X$, conforme especificado na equação 03:

$$NC = \frac{\lambda_{Max}}{\lambda_{Min}} \quad (03)$$

Em que: $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ são os autovalores da matriz de Correlação $X'X$.

O Modelo de Defasagem Espacial (MDE), também conhecido como modelo espacial de regressão, é uma técnica estatística utilizada para analisar dados que exibem dependência espacial. Ele leva em consideração a interação entre as observações próximas no espaço, reconhecendo que os valores de uma variável podem ser influenciados pelos valores de outras variáveis em locais vizinhos (Anselin, 1992).

O Modelo de Defasagem Espacial (MDE) é utilizado quando se assume que a autocorrelação espacial pode ser captada por meio da estimativa de um coeficiente relacionado com a variável dependente defasada espacialmente (Anselin, 1992). A equação abaixo ilustra o citado modelo:

$$Y = \rho WY + X\beta + u \quad (04)$$

Onde:

Y : é um vetor N por 1 de observações da variável dependente (Consumo Total de água pelos macros setores econômicos);

ρ : é um coeficiente autoregressivo espacial; e o termo WY ilustra a variável dependente defasada espacialmente;

W : é a matriz de ponderação espacial;

y : é o vetor de variáveis dependentes deslocadas espacialmente;

X : é uma matriz com N observações por K variáveis explicativas (Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário, Valor Adicionado Bruto do setor da Indústria e Valor Adicionado Bruto do setor de Serviços);

β : é um vetor de coeficientes a serem estimados;

u : é um vetor de erros, que se supõe seguir a distribuição normal, com média zero, variância constante e ($u \sim N(0, I\sigma^2)$), e não se correlacionar com outros erros ($E(u_i, u_j) = 0$, para $i \neq j$), e tampouco com as variáveis explicativas.

Assim, Y é um vetor ($n \times 1$) que concebe o logaritmo do consumo total de água pelos setores econômicos (agropecuário, indústria e serviços) para os municípios cearenses. A matriz X ($n \times K$) representa as variáveis explicativas, sendo β o vetor ($K \times 1$) de coeficientes. Vale ressaltar que as variáveis explicativas do modelo espacial são as mesmas adotadas no modelo estimado via MQO.

A matriz W ($n \times n$) é a matriz de contiguidade espacial. Ela é uma matriz quadrada que indica a intensidade da relação entre as observações em diferentes locais. Ela pode ser definida de várias maneiras, como uma matriz binária, uma matriz de distâncias inversas ou uma matriz baseada em vizinhança contígua. Essa matriz é fundamental para capturar a dependência espacial nas análises.

Existem vários métodos para estimar a condutividade espacial e construir a matriz de pesos. Alguns dos métodos mais comuns incluem:

- a) Matriz de pesos binária: Neste método, a relação espacial é considerada apenas como uma conexão binária, onde unidades espaciais vizinhas são consideradas conectadas (valor 1) e unidades não vizinhas são consideradas desconectadas (valor 0). Essa abordagem é útil quando se está interessado apenas em saber se as unidades estão ou não conectadas, sem levar em consideração a intensidade dessa conexão;
- b) matriz de pesos baseada na distância: Nesse método, a intensidade da conexão entre as unidades espaciais é determinada pela distância física entre elas. Quanto mais próximas as unidades, maior a intensidade da conexão. Existem várias maneiras de calcular a intensidade da conexão com base na distância, como o inverso da distância, uma função decaimento exponencial da distância, entre outros;
- c) matriz de pesos baseada na contiguidade: Neste método, a matriz de pesos é construída com base na contiguidade espacial. Duas unidades espaciais são consideradas conectadas se compartilham uma fronteira comum. A intensidade da conexão pode ser binária (1 para unidades contíguas e 0 para unidades não contíguas) ou ponderada de acordo com algum critério (por exemplo, tamanho da fronteira compartilhada);

- d) matriz de pesos baseada na similaridade: Nesse método, a intensidade da conexão é determinada pela similaridade entre as unidades espaciais. A similaridade pode ser medida usando várias métricas, como correlação espacial, índice de similaridade de Moran, entre outras. Quanto mais similaridade existir entre as unidades, maior será a intensidade da conexão;
- e) matriz de pesos baseada em redes: Este método utiliza técnicas de análise de redes para construir a matriz de pesos. As unidades espaciais são tratadas como nós da rede, e as conexões são determinadas com base em medidas de centralidade, proximidade ou outras propriedades da rede.

Neste estudo foi utilizada a Matriz de pesos (W) baseada na Contiguidade Espacial tipo Rook (Torre), pois esta foi a que apresentou o melhor resultado para o Índice de Moran Global (I), captando uma maior dependência espacial, conforme descrição contida no Capítulo 4, desta Tese.

O parâmetro ρ é o coeficiente de defasagem espacial, o qual capta os efeitos do consumo total de água pelos setores econômicos (agropecuário, indústria e serviços) de um município sobre o de seus vizinhos.

O Modelo de Erro Espacial (MEE) é utilizado quando as suposições de homocedasticidade e de erros não correlacionados não são atendidas (ALMEIDA, 2012), ou seja, esse modelo é adequado quando as variáveis não incluídas, e que são captadas pelos termos de erro, são autocorrelacionadas espacialmente.

No Modelo de Erro Espacial, estima-se o erro, “u” do modelo de MQO, da seguinte forma:

$$u = \lambda Wu + \xi. \quad (05)$$

u: é um vetor de erros, que se supõe seguir a distribuição normal, com média zero, variância constante e ($u \sim N(0, I\sigma^2)$), e não se correlacionar com outros erros ($E(u_i, u_j) = 0$, para $i \neq j$), e tampouco com as variáveis explicativas.

λ : é um escalar do coeficiente do erro e $u \sim N(0, \sigma^2 I)$.

$W\mu$: é a matriz de defasagem espacial dos erros;

ξ : é o erro estimado do modelo com média zero e variância constante.

Assim, se tem o modelo de erro espacial especificado na equação 06:

$$Y = X\beta + \lambda Wu + \xi. \quad (06)$$

Onde:

Y : é um vetor N por 1 de observações da variável dependente (Consumo Total de água pelos macros setores econômicos);

X : é uma matriz com N observações por K variáveis explicativas (Valor Adicionado Bruto do setor Agropecuário, Valor Adicionado Bruto do setor da Indústria e Valor Adicionado Bruto do setor de Serviços);

β : é um vetor de coeficientes a serem estimados;

λ : é o coeficiente de erro autoregressivo espacial;

Wu : é uma matriz de defasagem espacial dos erros;

ξ : é o erro estimado do modelo com média zero e variância constante.

Foram aplicadas as seguintes estatísticas de teste para comparar os modelos propostos, sendo estas, a Função de Verossimilhança (LIK) e os Critérios de Informação de Akaike (AIC) e de Schwarz (SC). De modo que, quanto maior o valor da LIK e menores os valores de AIC e SC, melhor é o modelo para captar a relação de dependência espacial das variáveis estudadas (Almeida, 2004; Anselin, 2005).

5.4 Resultados

5.4.1 Identificação da cadeia de valor dos fluxos de água virtual

A cadeia de valor foi obtida considerando todos os fluxos de entrada e saída de água virtual entre os 184 municípios do estado do Ceará, gerados por suas atividades econômicas. Foi estimado um fluxo de 469,48 milhões de m^3 , representando 7,6% do total de recursos hídricos disponíveis no ano de 2013 e 31,4% do consumo total de água demandada pelas atividades econômicas do setor produtivo do Estado.

Nela, destacam-se as seguintes atividades econômicas com maior peso nos fluxos de água virtual em termos de conexão e volume entre os municípios cearenses: i) Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores; ii) Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca e iii) Pecuária, inclusive o apoio a pecuária. Estas atividades são centros de conexão com ligações que maximizam e dinamizam o fluxo de água virtual entre

os municípios cearenses. Juntas, elas respondem por 52,6% do fluxo total de entrada e por 61,6% do fluxo total de saída intermunicipal de água virtual.

5.4.2 Análise dos fluxos de entrada de água virtual na cadeia de valor

Observando o fluxo de água virtual de forma direcionada, identificou-se que os municípios de Fortaleza (179.891.952 m³), Maracanaú (35.842.056 m³) e Aquiraz (25.397.697 m³) são os municípios que possuem o maior volume de entrada de água virtual transacionada pelas relações econômicas intermunicipal no Ceará.

A região hidrográfica das Bacias Metropolitanas concentrando 72,3% dos fluxos de entrada de água virtual do estado do Ceará em função das transações econômicas entre os municípios cearenses. Esta região é uma grande receptora de recursos hídricos transferidos via água virtual, principalmente da região hidrográfica do Jaguaribe (Tabela 9). Isto está relacionado a baixa capacidade de armazenamento hídrico das Bacias Metropolitanas quanto comparado às outras regiões do estado do Ceará.

Tabela 9 - Fluxos de entrada de água virtual do Ceará por município: volume (m³) e participação (%), 2013.

Município	Região Hidrográfica	Vol. Água (m ³)	Participação (%)
Fortaleza (CE)	Bacias Metropolitanas	179.891.952	38,3%
Maracanaú (CE)	Bacias Metropolitanas	35.842.056	7,6%
Aquiraz (CE)	Bacias Metropolitanas	25.397.697	5,4%
São Gonçalo do Amarante (CE)	Bacias Metropolitanas	18.949.652	4,0%
Itarema (CE)	Médio Jaguaribe	18.740.392	4,0%
Camocim (CE)	Coreaú	15.386.047	3,3%
Aracati (CE)	Baixo Jaguaribe	14.023.794	3,0%
Maranguape (CE)	Bacias Metropolitanas	13.133.218	2,8%
Pindoretama (CE)	Bacias Metropolitanas	11.507.004	2,5%
Caucaia (CE)	Bacias Metropolitanas	11.120.564	2,4%

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Quanto a dimensão das atividades econômicas, o padrão de entrada de fluxos de água virtual foi determinado principalmente pelas atividades da i) Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária, ii) Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores, iii) Produção florestal, pesca e aquicultura, iv) Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca, v) Refino de petróleo e coquearias, vi) Energia elétrica, gás natural e outras utilidades, vii) Outros produtos alimentares, viii) Fabricação de bebidas, ix) Fabricação de produtos têxteis e x) Confeção de artefatos do vestuário e acessórios. As quais juntas

responderam por 87,0% do fluxo total de água virtual de entrada entre os municípios do Ceará (Tabela 10).

Tabela 10 - Fluxos de entrada de água virtual do Ceará por atividade econômica: volume (m³) e participação (%), 2013.

Atividades	Vol. Água (m ³)	Participação
Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	139.906.001	29,8%
Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	98.709.874	21,0%
Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária	50.739.262	10,8%
Outros produtos alimentares	43.155.961	9,2%
Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	20.610.179	4,4%
Refino de petróleo e coquerias	11.545.075	2,5%
Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	11.490.601	2,4%
Alimentação	11.279.673	2,4%
Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	10.751.227	2,3%
Produção florestal, pesca e aquicultura	10.413.805	2,2%
Demais atividades	60.878.036	13,0%

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

As regiões com os maiores fluxos de entrada de água virtual, para o ano de 2013, são: Bacias Metropolitanas (342.684.992 m³), Litoral (37.001.049 m³) e Bacia do Baixo Jaguaribe (23.331.373 m³).

Dentre estas regiões hidrográficas, as atividades da Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária, Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas, Impressão e reprodução de gravações, Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos, Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos e Confecção de artefatos do vestuário e acessórios, são as atividades econômicas que possuem os maiores de fluxos de entrada de água virtual pela rede de comércio (Tabela 11).

Tabela 11 - Principais atividades econômicas dentre os municípios com maior valor de fluxos de entrada de água virtual.

Código Atividade	Atividades econômicas	Volume Água (m ³)
Município de Fortaleza		
4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	52.515.857
192	Pecuária, inclusive o apoio a pecuária	52.240.135
1991	Refino de petróleo e coquerias	25.751.928
Município de Maracanaú		
4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	16.934.684
1300	Fabricação de produtos têxteis	5.194.701

1100	Fabricação de bebidas	5.171.981
Município de Aquiraz		
192	Pecuária, inclusive o apoio a pecuária	14.392.355
1091	Abate e prod. de carne, inclusive os prod. do laticínio e da pesca	6.673.069
1093	Outros produtos alimentares	2.245.127

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

5.4.3 Análise dos fluxos de saída de água virtual da cadeia de valor

Em relação aos fluxos de saída de água virtual destaca-se: as Bacias Metropolitanas (342.684.992m³), a região do Litoral (37.001.050m³) e do Baixo Jaguaribe (23.331.373m³). A tabela 5.4 expõe os municípios dessas regiões com os maiores fluxos de saída (Tabela 12).

Tabela 12 - Fluxos de saída de água virtual do Ceará por região: volume (m³) e percentual (%), 2013.

Município	Região Hidrográfica	Vol. Água (m ³)	Participação (%)
Fortaleza	Bacias Metropolitanas	208.528.797	44,4%
Maracanaú	Bacias Metropolitanas	31.021.331	6,6%
Aquiraz	Bacias Metropolitanas	30.453.280	6,5%
Itarema	Médio Jaguaribe	22.886.272	4,9%
Caucaia	Bacias Metropolitanas	20.962.329	4,5%
Acaraú	Acaraú	12.566.419	2,7%
Itapipoca	Litoral	10.443.308	2,2%
São Gonçalo do Amarante	Bacias Metropolitanas	9.896.966	2,1%
Aracati	Baixo Jaguaribe	9.403.833	2,0%
Cascavel	Bacias Metropolitanas	9.268.699	2,0%

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

As atividades que transacionam os maiores fluxos de saídas de água virtual, são: Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores, Abate e produção de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca e a Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária (Tabela 13).

As Bacias Metropolitanas está respondendo por 73,0% do fluxo total de saídas entre os municípios do Ceará, e envia um maior fluxo de água virtual via bens e serviços para as regiões hidrográficas do Baixo Jaguaribe (9.333.157 m³), Bacia do Acaraú (2,5%) e Bacia do Salgado (2,3%), principalmente via as atividades de Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores, Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca e Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária (Tabela 5.6). Sendo que 85,5% destes fluxos de água virtual são gerados internamente na própria região hidrográfica das Bacias Metropolitanas.

Tabela 13 - Principais atividades econômicas dentre os municípios com maior valor de fluxos de saída de água virtual

Código Atividade	Principais atividades econômicas	Vol. Água (m³)
Município de Fortaleza		
4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	79.566.226
1093	Outros produtos alimentares	33.957.840
192	Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária	21.436.886
Município de Maracanaú		
1091	Abate e prod. de carne, inclusive os prod. do laticínio e da pesca	8.438.607
4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	6.955.044
5280	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	3.602.682
Município de Aquiraz		
1091	Abate e prod. de carne, inclusive os prod. do laticínio e da pesca	19.650.897
192	Pecuária, inclusive o apoio a pecuária	8.037.143
4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	656.233

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Ressalta-se que a Bacia Hidrográfica do Jaguaribe formada pelas regiões do Salgado, Banabuiú, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Baixo Jaguaribe enviam um fluxo de 25.306.083 m³ de água virtual pelo comércio para a região das Bacias Metropolitanas durante o ano de 2013, correspondendo a 51,3% do volume total de saídas da Grande Bacia hidrográfica do Jaguaribe e a 7,5% do total de fluxos de entrada da região hidrográfica das Bacias Metropolitanas.

Essa estrutura de fluxo de água virtual da região das Bacias Metropolitanas é explicada pela concentração tanto das atividades econômicas do estado como da população, que cada vez mais busca os centros urbanos para se estabelecerem. No que se refere à dinâmica da economia dos municípios, destaca-se Fortaleza que apresentou, em 2013, a maior participação no Valor Adicionado Bruto do Ceará dentre os municípios do Estado, respondendo sozinha por 45,6% do PIB estadual.

Os municípios de Maracanaú (5,8% do PIB), Caucaia (4,4% do PIB), Eusébio (1,9% do PIB), Aquiraz (1,4% do PIB), Maranguape (0,9% do PIB), São Gonçalo do Amarante (0,8% do PIB) e Pacajus (0,7% do PIB) apresentaram participações elevadas no PIB estadual, estimulando fortemente a oferta de bens e serviços intensivos em água destas unidades espaciais.

Tabela 14 - Principais atividades econômicas com maior valor de fluxos de saídas de água virtual por região hidrográfica, Ceará, 2013.

Código Atividade	Principais atividades econômicas por Região Hidrográfica	Vol. Água (m³)
Bacias Metropolitanas		
4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	104.010.751
1091	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	48.764.312
192	Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária	47.538.162
Litoral		
1091	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	24.534.946
4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	7.707.011
1500	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	1.575.570
Baixo Jaguaribe		
1091	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	12.879.369
4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	3.244.445
2300	Fabricação de produtos de minerais não metálicos	2.408.328

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Tabela 15 - Fluxos de saída de água virtual do Ceará por atividade econômica: volume (m³) e participação (%), 2013.

Atividades	Vol. Água (m³)	Participação (%)
Pecuária, inclusive os serviços de apoio a pecuária	111.154.693	23,7%
Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	100.149.836	21,3%
Produção florestal, pesca e aquicultura	72.288.187	15,4%
Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	35.422.537	7,5%
Refino de petróleo e coquerias	33.225.323	7,1%
Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	19.276.089	4,1%
Outros produtos alimentares	16.384.227	3,5%
Fabricação de bebidas	11.950.031	2,5%
Fabricação de produtos têxteis	11.469.808	2,4%
Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	9.044.761	1,9%
Demais atividades	49.114.203	10,5%

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Na análise do comércio intermunicipal do Ceará, a atividade da Pecuária, inclusive o apoio a pecuária é a que possui o maior peso de fluxo de água virtual, seguida pelo Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores; Produção florestal, pesca e aquicultura e Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca. Estas atividades também foram as que apresentam um maior grau de conexões de venda e conseqüentemente maior centralidade de intermediação no comércio de bens e serviços, considerando as

transações econômicas intermunicipais no Ceará. Juntas, estas atividades concentram 67,9% do fluxo total de saídas intermunicipal (Tabela 15).

Avaliando a conectividade da atividade econômica do Comércio por atacado e a varejo dentro da cadeia de valor formada pelos fluxos de saída de água virtual, o setor agropecuário responde por 17,1% de seus fluxos de água virtual e por apenas 0,3% dos fluxos monetários. O setor da indústria responde por 42,4% dos fluxos de água virtual do hub formado pela atividade econômica do Comércio por atacado e a varejo, e por 31,5% de seus fluxos monetários. E o setor de serviços representa 40,5% dos fluxos de água virtual e 68,3% dos fluxos monetários (Tabela 16).

Tabela 16 - Principais atividades econômicas ligadas à atividade do Comércio por atacado e a varejo, fluxos de água virtual da cadeia de valor

	Cód.	Atividades interligadas com o Comércio por atacado e a varejo	Vol. Água (m ³)	% (m ³)	Valor * (R\$)	% (R\$)
Comércio por atacado e a varejo (4680)		Agropecuária	23.989.773	17,1%	182.306.050	0,3%
	191	Agricultura, inclusive o apoio a agricultura e a pós-colheita	2.805.508	2,0%	47.497.256	0,1%
	192	Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária	16.432.588	11,7%	123.737.387	0,2%
	280	Produção florestal, pesca e aquicultura	4.751.677	3,4%	11.071.408	0,0%
		Indústria	59.264.312	42,4%	21.512.015.603	31,5%
	1091	Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca	7.634.805	5,5%	5.873.837.366	8,6%
	1093	Outros produtos alimentares	5.671.860	4,1%	2.229.948.292	3,3%
	1100	Fabricação de bebidas	8.231.054	5,9%	1.363.474.171	2,0%
	1400	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	5.080.644	3,6%	757.066.763	1,1%
	1500	Fabricação de calçados e de artefatos de couro	2.199.561	1,6%	263.771.297	0,4%
	1991	Refino de petróleo e coquearias	24.957.986	17,8%	7.051.130.094	10,3%
		Serviços	56.651.916	40,5%	46.654.140.745	68,3%
	4680	Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores	48.972.050	35,0%	37.120.814.075	54,3%
	5280	Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio	5.889.749	4,2%	7.709.092.341	11,3%
		Fluxos totais de saídas (4680)	139.906.001	100%	68.348.462.398	100%

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

* Valor monetário observado pelas notas fiscais eletrônicas.

Os principais elos da atividade econômica do Comércio por atacado e varejo com o setor agropecuário são: atividades econômicas da Agricultura, inclusive o apoio a agricultura e a pós-colheita (2.805.508m³), Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária (16.432.588m³) e a Produção florestal, pesca e aquicultura (4.751.677m³). Já os principais elos com o setor da

indústria, são: Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca (7.634.805m³), Outros produtos alimentares (5.671.860m³), Fabricação de bebidas (8.231.054m³), Confeção de artefatos do vestuário e acessórios (5.080.644m³), Fabricação de calçados e de artefatos de couro (2.199.561m³) e Refino de petróleo e coquerias (24.957.986m³). E os principais elos de conexão do setor de serviços são: comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores (48.972.050m³) e armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio (5.889.749m³).

5.4.4 Análise conjunta da entrada e saída de água virtual

Os resultados indicam que as atividades do Comércio por atacado e a varejo exceto veículos automotores e Pecuária, inclusive serviços de apoio a pecuária, do município de Fortaleza, são as atividades responsáveis pelas maiores centralidades de intermediação de fluxo de água virtual, tanto de entrada como de saída entre os municípios cearenses, com destaque para o Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores, movimentando um volume de água virtual de entrada de 79.566.226 m³ e um volume de saída de 52.515.857 m³, associados às suas conexões de compra e venda com outras atividades econômicas com os demais municípios do Ceará.

Os principais centros de intermediação de entrada e saída de água virtual são os municípios de Fortaleza, Acaraú, Aquiraz, Aracati, Camocim, Cascavel, Caucaia, Itarema, Maracanaú, Maranguape, Paracuru, Pindoretama e São Gonçalo do Amarante.

Analisando estas atividades econômicas em termos de setores estimou-se que os setores da agropecuária, indústria e serviço geraram retornos econômicos na ordem de R\$8,04/m³, R\$529,14/m³ e R\$208,20/m³, respectivamente. Entre estes setores, a agropecuária possui o maior consumo direto de água bruta do estado do Ceará, respondendo por 62,02% do consumo total de água. Enquanto os setores da indústria e de serviços responderam, respectivamente, por 7,48% e 30,50% (ver Capítulo 2).

No que se refere, a análise dos fluxos de água virtual de entrada e saídas de fluxos de água virtual entre as Regiões hidrográficas, a região das Bacias Metropolitanas é a região que concentra mais de 70% destes fluxos. Respondendo por 73% dos fluxos de saídas e por 72,3% dos fluxos de entradas.

Entre as principais atividades econômicas responsáveis pelos fluxos de entradas e saídas estão: i) No setor da agropecuária: Pecuária, inclusive o apoio a pecuária; Produção

florestal, pesca e aquicultura, ii) No setor da indústria: Refino de petróleo e coquearias; Abate e produção de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca; Outros produtos alimentares; Fabricação de produtos têxteis; Fabricação de bebidas; Confeção de artefatos do vestuário e acessórios; Fabricação de produtos de minerais não metálicos. iii) No setor de serviços: Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores; Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio; Transporte terrestre.

De forma que o setor agropecuário responde por 13,6% dos fluxos de água virtual entrada e por 41,0% dos fluxos de saída. O setor da indústria por 48,1% dos fluxos de água virtual entrada e por 34,4% dos fluxos de saída. E o setor de serviços por 38,4% dos fluxos de água virtual entrada e por 24,7% dos fluxos de saída.

Tabela 17 - Fluxo de Água Virtual* (hm³) entre as Regiões Hidrográficas do Ceará, 2013

Regiões	Serra da Ibiapaba	Acará	Alto Jaguaribe	Baixo Jaguaribe	Banabuiú	Coreaú	Curu	Litoral	Médio Jaguaribe	Salgado	Sertões de Crateús	Metropolitana	Total
Serra da Ibiapaba	0,54	0,15	0,00	0,01	0,01	0,21	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,99	1,97
Acará	0,11	1,95	0,05	0,90	0,13	8,40	1,75	0,77	0,00	0,48	0,03	8,42	23,01
Alto Jaguaribe	0,00	0,03	0,46	0,27	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01	1,21	0,01	3,74	5,78
Baixo Jaguaribe	0,02	0,33	0,08	10,45	0,07	0,39	2,30	0,31	0,02	0,03	0,00	9,33	23,33
Banabuiú	0,01	0,16	0,16	0,55	0,60	0,02	0,00	0,17	0,02	0,16	0,00	3,66	5,53
Coreaú	0,13	1,49	0,03	0,43	0,01	0,47	0,06	0,61	0,00	0,05	0,00	2,51	5,79
Curú	0,00	0,11	0,03	1,31	0,03	0,01	2,57	0,46	0,00	0,01	0,00	3,47	8,01
Litoral	0,05	6,18	0,03	2,56	0,34	5,85	1,08	16,18	0,00	0,01	0,00	4,72	37,00
Médio Jaguaribe	0,00	0,01	0,03	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,08	0,00	0,77	1,01
Salgado	0,02	0,34	0,68	0,16	0,08	0,22	0,03	0,01	0,04	4,33	0,00	7,80	13,69
Sertões de Crateús	0,02	0,12	0,03	0,03	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00	0,04	0,19	1,19	1,67
Metropolitana	1,17	7,37	1,09	13,00	2,37	5,51	10,23	3,58	0,29	4,25	0,86	292,95	342,68
Total	2,08	18,25	2,67	29,72	3,71	21,11	18,04	22,14	0,46	10,67	1,09	339,56	469,48

Fonte: Elaborada pelos autores (2023). * As linhas são os fluxos de saídas e as colunas são os fluxos de entradas de água virtual.

5.4.5 Análise da sensibilidade

Para estimar o grau de influência de cada setor macroeconômico sobre o consumo de recursos hídricos foram utilizados três modelos econométricos: o modelo por Mínimos Quadrados Ordinários (MQO), o Modelo de Defasagem Espacial (MDE) e o Modelo de Erro Espacial (MEE) (Tabela 18).

Tabela 18 - Determinantes do Consumo Total de Água gerado pelos Macros Setores Econômicos dos municípios do Ceará: MQO, MDE e MEE, Ceará – 2013

Variáveis Explicativas	MQO	MDE	MEE
Setor Agropecuário	0,743813 * (0,03053)	0,721182 * (0,02841)	0,742559 * (0,03274)
Setor da Indústria	0,167299 * (0,03298)	0,098915 * (0,03232)	0,132011 * (0,03462)
Setor dos Serviços	0,22728 * (0,05591)	0,299473 * (0,05270)	0,243106 * (0,05666)
Constante	3,58785 * (0,40951)	0,738522 *** (0,63132)	3,75801 * (0,39347)
P	-	0,188905* (0,03419)	-
Λ	-	-	0,368667* (0,09328)
Estatísticas			
Multicolinearidade (Número de Condição - CN)	68,43	-	-
Coefficiente de Determinação – R ²	0,9264	0,9370	0,9319
LIK (Log Likelihood)	-44,867	-31,2948	-40,423422
AIC (Akaike Info Criterion)	97,734	72,5895	88,8468
SC (Schwarz Criterion)	110,594	88,6642	101,707
Teste Jarque-Bera	150,03*	-	-
I de Moran (resíduos)	0,1245*		
ML _p	25,418*	-	-
MLR _p	19,640*	-	-
ML _{λ}	6,6830*	-	-
MLR _{λ}	0,9057	-	-
Nº Obs.	184	184	184

Fonte: Elaborada pelos autores (2023).

Nota¹: Todas as variáveis estão em logaritmo natural. As estimativas de MQO foram obtidas com correção para Heteroscedasticidade (erros robustos de White).

Nota²: Erro padrão entre parênteses. * indica significância a 1%; ** indica significância a 5%; *** indica significância a 10% ou maior do que 10%.

Destaca-se que, a variável dependente adotada para estes modelos foi o consumo total de água utilizado pelos setores macroeconômicos de cada município do Ceará, e as variáveis explicativas foram o Valor Adicionado Bruto (VAB) de cada setor macroeconômico (agropecuária, indústria e serviços) de cada um dos 184 municípios do Estado.

Dessa forma, o desempenho econômico dos setores macroeconômicos da agropecuária, indústria e serviços, representam as características da estrutura produtiva regional, que conforme os resultados obtidos no Capítulo 2, podem impactar o nível de consumo de recursos hídricos. Tendo em vista que a água é um insumo de produção de bens e serviços relacionados a estes setores econômicos. Nesse contexto, as estimativas dos modelos de econometria propostos encontram-se descritas na Tabela 17.

Na primeira coluna da Tabela 5.10 observam-se os resultados dos coeficientes estimados por MQO que, na presença de dependência espacial, mostram-se ineficientes. O teste I de Moran para os resíduos do modelo gerado por MQO confirma a existência de autocorrelação positiva entre os resíduos (os resíduos não são independentes), implicando que o fato de um município se encontrar próximo de outros com elevado consumo total de água faz com que este provavelmente também apresenta alta taxa de consumo. Da mesma forma, um município com baixo consumo total de água é vizinho de municípios que também apresentam baixos índices deste indicador.

Dado que se detectou, na seção anterior, a existência de dependência espacial no consumo total de água dos municípios cearenses, bem como, autocorrelação espacial dos erros no modelo MQO, a estimação foi feita incorporando tal informação, utilizando-se dos métodos de MDE (2ª coluna) e MEE (3ª coluna) (Tabela 17).

Os modelos apresentaram um bom grau de ajuste, com o coeficiente de determinação (R^2) consideravelmente elevado, tanto quanto ao se usar o método MQO (0,9264), quanto ao se usar as técnicas que consideram a dependência espacial, MDE (0,9370) e MEE (0,9319) (Tabela 17).

Não obstante, constatou-se que o *Modelo de Defasagem Espacial (MDE)* é o mais indicado para se estudar os determinantes do consumo total de água dos municípios cearenses, pois o modelo MQO possui um valor do Multiplicador de Lagrange Robusto para a Defasagem Espacial ($MRL\rho$) maior do que o valor do Multiplicador de Lagrange Robusto para o Erro Espacial ($MRL\lambda$).

O *Modelo de Defasagem Espacial (MDE)* também é apontado como o melhor modelo para captar a relação de dependência espacial das variáveis estudadas (macrosetores econômicos: agropecuária, indústria e serviços) relacionadas com a estimativa da demanda hídrica dos municípios do estado do Ceará, conforme critérios estabelecidos por Almeida

(2004) e Anselin (2005), o qual possui maior valor para a Função de Verossimilhança (LIK), e tem os menores valores para os critérios de informação Akaike (AIC) e Schwarz (SC).

Portanto, as inferências para o consumo econômico de recursos hídricos serão feitas a partir do método de estimação *Modelo de Defasagem Espacial (MDE)*. Dito isto, ressalta-se ainda que, com o modelo na forma log-linear, os coeficientes estimados representam as próprias elasticidades, que informam qual a sensibilidade do consumo total de água com respeito a cada uma das variáveis explicativas incluídas no modelo.

Constata-se que, no modelo MDE, o valor de 0,1889 referente ao coeficiente ρ foi significativo a 1%, indicando autocorrelação espacial na estimativa, ou seja, existe dependência espacial significativa e positiva envolvendo consumo total de água dos municípios.

Já o coeficiente do erro auto-regressivo espacial ρ no modelo MEE, também foi significativo e positivo (0,03419), indicando que os efeitos não modelados apresentam uma autocorrelação espacial positiva.

Pode-se observar que todos os coeficientes se mostraram como sendo resultados esperados teórica e estatisticamente significantes. Com base nos coeficientes encontrados, verifica-se que o consumo total de água varia diretamente com o VAB do setor Agropecuário, o VAB da Indústria e o VAB dos Serviços, indicando que o crescimento dessas variáveis resulta, em média, em aumento do consumo total de água.

De forma que, ao elevar o VAB da Agricultura em 10% o consumo total de água aumenta em 7,2%, e caso haja uma elevação de 10% no VAB da Indústria, o modelo MDE prevê um incremento da ordem de 1% no consumo de água total. No que lhe concerne, uma elevação de 10% no VAB dos Serviços resulta em uma estimativa de elevação do consumo total de água da ordem de 2,9%.

Deste modo, verifica-se que os coeficientes técnicos estimados pelo *Modelo de Defasagem Espacial (MDE)* para os setores da agropecuária (0,721182), indústria (0,09891) e serviços (0,299473), expõem de forma consistente a relação entre o nível de consumo econômico de água e a geração do Valor Adicionado Bruto de cada um destes setores, conforme resultados obtidos por Soares et al. (2021), verificando que o setor agropecuário tem o maior consumo direto de água bruta, respondendo por 62,08% do consumo econômico total de água do Estado, o setor de serviços responde por 30,50%, e o setor industrial consome 7,42%, os quais possuem, respectivamente, os seguintes coeficientes técnicos de geração de Valor Bruto da Produção para cada m³ de água consumido: R\$8,04/m³, R\$573,94/m³ e R\$249,89/m³.

5.5 Conclusões

O estudo identificou os principais municípios e regiões hidrográficas que apresentaram maiores fluxos de água virtual produzidos pelo comércio de bens e serviços entre os setores macroeconômicos do estado do Ceará, além de identificar as atividades econômicas que mais contribuíram para a geração destes fluxos no Ceará.

Foi estimado o volume total de água virtual transacionado entre os 184 municípios do estado do Ceará na ordem de 469,48 milhões de m³. Entre as atividades econômicas apontados que dinamizam o fluxo de água virtual entre os municípios cearenses, destacam-se: Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores; Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca e a Pecuária, inclusive o apoio a pecuária. As quais juntas representam 61,6% do fluxo total de entrada intermunicipal.

Os municípios de Fortaleza, Maracanaú e Aquiraz são as unidades espaciais com o maior volume de entrada e saída de água virtual transacionada pelos fluxos de comércio. As regiões hidrográficas das Bacias Metropolitanas (342.684.992 m³), Litoral (37.001.049 m³) e do Baixo Jaguaribe (23.331.373 m³) são as regiões que possuem um maior nível de fluxo de entrada de água virtual. Observou-se que as Bacias Metropolitanas enviam o maior volume de água virtual, respondendo por 73,0% do fluxo total de saídas de água virtual e por 72,3% do fluxo total de entrada.

As atividades econômicas que exportam um maior volume de fluxos de água virtual são: Pecuária, inclusive o apoio a pecuária; Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores; Produção florestal, pesca e aquicultura e Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca. Estas concentram 67,9% dos fluxos de saídas de água virtual intermunicipal do Ceará, as quais possuem um maior grau de conexões de venda e uma maior centralidade de intermediação na rede de comércio.

Assim, foi notório que a região das Bacias Metropolitanas possui a maior centralidade na distribuição tanto dos fluxos de entrada como os de saída de água virtual no estado do Ceará. Nesta região, há uma forte concentração do PIB estadual, sendo que em 2013, ela respondeu por 66,4% do PIB total do estado do Ceará.

Entre os modelos econométricos utilizados para estimar o grau de influência de cada setor econômico sobre o consumo de água dos municípios cearenses, constatou-se que o *Modelo de Defasagem Espacial (MDE)* é o mais indicado para se estudar os determinantes do consumo total de água dos municípios cearenses, pois o mesmo possuiu os melhores critérios estatísticos para captar a relação de dependência espacial das variáveis estudadas.

Desse modo, verifica-se que os coeficientes técnicos estimados pelo *MDE* para os setores da agropecuária (0,721182), indústria (0,09891) e serviços (0,299473) expõem a relação entre o nível de consumo econômico de água e a geração do Valor Adicionado Bruto de cada um destes setores.

As ferramentas aplicadas neste estudo possibilitam o dimensionamento tanto do volume de transferências hídricas regionais, como do nível dos impactos que cada setor macroeconômico exerce sobre demanda hídrica local e regional e sobre os fluxos de água virtual de forma intra e inter-regional no Ceará.

O principal fator limitante para a aplicação das metodologias utilizadas neste estudo foi a análise pontual no tempo, considerando apenas o ano de 2013. Assim, verificamos que desdobramentos futuros desta pesquisa necessitam aprofundar a análise do padrão espacial de consumo econômicos de água para outros anos, para verificar como os padrões espaciais de consumo econômico de água no estado do Ceará se comportam no tempo, dado que a disponibilidade hídrica do Ceará é afetada tanto por fatores socioeconômicos como por fatores ambientais como a ocorrência de secas frequentes, os quais influenciam o padrão de consumo de água pelos setores econômicos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou contribuir com a ampliação do conhecimento relativo à alocação de recursos hídricos entre os diversos setores econômicos e na obtenção das demandas hídricas atreladas ao desenvolvimento econômico regional, incorporando, assim, um conjunto diversificado de ferramentas e de indicadores econômicos para o planejamento dos recursos hídricos, como o uso da Matriz Insumo-Produto Regional, análises de econometria espacial e Teoria de Redes.

Por meio da aplicação da teoria econômica de análise Insumo-Produto desenvolvida por Leontief, foi possível construir a Matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos do estado do Ceará (MIPRH/CE) para o ano de 2013, a partir da Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará (MIP/CE), considerando 32 atividades econômicas e 58 produtos.

Baseado nas informações da Matriz Insumo-Produto Regional do Ceará (MIPRH/CE), o consumo direto de água pelos setores econômicos cearenses soma uma demanda total de água de 1,33 trilhão de m³. Verificou-se que o setor agropecuário respondeu por 62,02% (825.987.938m³) do consumo direto de água na estrutura produtiva do Ceará, seguido pelo setor de serviços, que respondeu por 30,50% (406.150.686 m³) e pela indústria, com um consumo de apenas 7,48% (99.548.278m³). Ressalta-se que o setor agropecuário consome água bruta e os setores da indústria e serviços, consomem, em sua maior parte, água tratada.

Na análise dos usos diretos e indiretos da água ao nível setorial, observou-se que, por um lado, o setor de agropecuário exibe um alto uso direto da água, consumindo 62,02% dos recursos hídricos de forma direta, no entanto, quando se avalia seu uso indireto, este representa apenas 9,16%.

Já o setor da indústria, este mostrou possuir um baixo consumo direto de água (7,47%), mas tem um elevado consumo indireto de água (82,11%), oriundo principalmente do setor agropecuário, que destina 42,50% do consumo direto de água para o setor da indústria, na forma de insumos para as atividades econômicas da indústria de transformação para a fabricação de produtos alimentícios, fabricação de bebidas, fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro. Gerando assim, um efeito de encadeamento intersetorial em termos de demanda hídrica na estrutura econômica do estado.

Segundo o MIPRH/CE, o consumo intermediário de água pelos setores econômicos foi de 193,47 bilhões de m³. O setor agropecuário consumiu 37.479.301m³ (19,37%), o setor

industrial demandou 5.047.820 m³ (12,94%), e o setor de serviços utilizou 130.944.545 m³ (67,68%). Quanto ao retorno econômico do uso da água entre os setores econômicos do Ceará, este teve um dos menores níveis de retorno econômico do uso da água, gerando um retorno econômico de R\$8,04/m³, dado que o setor agropecuário foi o que apresentou o maior volume de recursos hídricos na estrutura econômica do Ceará. Já quanto aos setores da indústria e de serviços, estes responderam, respectivamente, por 7,48% e 30,50% da demanda total de água do Estado, apresentando os seguintes benefícios econômicos pelo uso da água: R\$529,14/m³ e R\$208,20/m³.

Os resultados para o índice de ligação para a frente, sugerem que setores com alto nível de ligações para a frente consomem mais água física do que água virtual em seus processos de produção. Portanto, o aumento da produção desses setores tende a exercer maior pressão sobre as fontes de recursos hídricos existentes na região, como barragens e poços, para atender a esse aumento da demanda.

Observou-se que o consumo das famílias tem forte influência sobre a demanda por água nos setores produtivos da economia regional cearense. Isso porque o nível de consumo das famílias pode gerar grandes efeitos, tanto nas ligações para frente, como nas ligações para trás com os setores produtivos que compõem a estrutura econômica do Ceará. Isso torna o consumo das famílias um fator dinâmico na estrutura econômica regional, tendo em vista o efeito induzido que estas produzem na economia regional do Ceará.

Com o uso dos Índices de Rasmussen e Hirschmann e de multiplicadores gerais de produção, renda e emprego para as ligações para a frente e para trás, foram identificados os setores-chave, com maior potencial para estimular a demanda hídrica no Estado do Ceará. De modo, que estes revelaram, a capacidade desses setores de propagar os efeitos de investimentos ou choques externos na estrutura econômica em uma proporção acima da média de todos os setores produtivos, além de identificar os setores econômicos que consomem direta ou indiretamente um maior volume de água dentro da estrutura produtiva regional, com base em sua tecnologia de produção e padrões de demanda hídrica.

Na análise da sensibilidade dos setores econômicos quanto a um choque de demanda hídrica, a elasticidade da demanda hídrica, foi identificado que o comércio e reparação do setor de veículos automotores e motocicletas ($GD_j = 1,0077$; $GDI = 1,0032$) e o consumo das famílias ($GD_j = 0,9997$; $GDI = 1,0067$), sendo estes, os setores econômicos com maior sensibilidade a choque de demanda por água, pois diante de choques de oferta e de demanda estas atividades pressionam o consumo de água, e são pressionadas a consumir recursos

hídricos. Isso se deve ao aumento da demanda de água de outros setores devido às suas ligações para frente e para trás na estrutura econômica do Ceará.

Em termos de análise espacial, constatou-se a existência de dependência espacial para o consumo total de água entre os municípios do estado do Ceará com base na análise da estatística do Índice I-Moran Global, de forma que há municípios que possuem uma autocorrelação espacial positiva.

Assim, o capítulo 4 expôs a percepção do padrão espacial do consumo total de água captado pela Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE), o qual permite ao sistema de planejamento e gestão de recursos hídricos a realização de um mapeamento do grau de associação existente entre municípios do Ceará para o consumo total de água no Estado. De modo que, municípios com Indicadores Locais de Associação Espacial (LISA) Alto-Alto, possuem elevados níveis de consumo total de água e sofrem influência dos fluxos hídricos gerados por municípios vizinhos na mesma situação.

Por meio do algoritmo de redes complexas - Modelo de Análise Multirregional de Entradas-Saídas verificou-se que o volume total dos fluxos de água virtual transacionados entre os 184 municípios do estado do Ceará foi da ordem de 469,48 milhões de m³, representando 7,6% do total de recursos hídricos armazenados no Estado e 31,4% do volume de água virtual consumido nos processos produtivos dos setores macroeconômicos do Ceará em 2013.

Este último estudo identificou os principais municípios e regiões hidrográficas que apresentaram maiores fluxos de água virtual produzidos pelo comércio de bens e serviços entre os setores macroeconômicos do estado do Ceará. Neste estudo, foi possível identificar as atividades econômicas que mais contribuíram para a geração destes fluxos no Ceará. E verificar com que intensidade estes fluxos são gerados por meio dos modelos de econometria espacial.

Entre as limitações do modelo Insumo-produto, verificou-se que este concentrasse na análise estática da estrutura econômica regional em um determinado ponto do tempo, sem incorporar medidas de incerteza sobre a dinâmica do desenvolvimento das atividades produtivas. Não sendo, portanto, indicado para análise de estimativa de demanda hídrica no longo prazo, uma vez que as transformações socioeconômicas e tecnológicas devem modificar o uso dos recursos hídricos entre os setores econômicos.

Outro fator observado ao longo da realização deste estudo, foi que os cálculos que fazem parte do processo da estimação dos coeficientes técnicos utilizados pelo modelo Insumo-Produto aplicado a Recursos Hídricos sofrem influência de aspectos como: i) nível tecnológico utilizado pelos setores econômicos, o qual afeta a produtividade setorial e também o consumo

de água por estes setores, ii) forças de demanda e oferta de mercado que ditam o preço dos bens e serviços impactando na geração do valor bruto da produção gerado por cada m³ de água consumido e, iii) fatores climáticos, que atuam principalmente sobre o setor agropecuário, fazendo com que este demande um maior ou menor volume de água, dependendo das condições de umidade, temperatura e volume de chuvas ocorridos na região.

Em suma, pode-se dizer que, o modelo Insumo-Produto Regional aplicado aos Recursos Hídricos permitiu uma análise consistente das demandas hídricas geradas por cada setor de produção e de seus benefícios econômicos gerados, constituindo assim, uma ferramenta útil para o planejamento e gestão dos recursos hídricos no estado de forma integrada.

Estudos futuros devem discutir medidas para melhorar a gestão da demanda hídrica associada ao desenvolvimento de atividades econômicas. Além disso, é importante considerar uma maior abertura da matriz ao setor agrícola para melhorar a análise de sua cadeia de suprimentos, considerando que este é um dos setores que mais consome recursos hídricos diretamente.

Outra proposição de estudos futuros é a análise da quebra dos índices do impacto das ligações para frente e para trás e a análise do efeito de transbordamento da demanda virtual de água pelo comércio inter-regional para estudar a sensibilidade da demanda agregada na economia aos choques externos de oferta e demanda, e como elas podem afetar as disponibilidades e os usos da água.

Bem como a análise da aplicação empírica dos indicadores gerados pela matriz Insumo-Produto de Recursos Hídricos para estimar os impactos econômicos de investimentos públicos voltados para a proteção ambiental e segurança hídrica do Ceará, com base na sua estrutura econômica.

Entre os temas para a realização de trabalhos futuros, está a tratativa da eficiência do uso da água pelos setores econômicos de uma região, observando a composição de suas atividades produtivas e a intensidade do uso da água em cada setor em termos de produto, renda e emprego, visando qualificar melhor os resultados dos coeficientes técnicos de uso da água, estimados pelo Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Água com a aplicação da Matriz Insumo-Produto.

De modo que seja possível, averiguar se um determinado setor econômico está sendo ou não eficiente dentro da estrutura produtiva de uma região, em termos de uso econômico da água, tendo em vista as especificidades tanto do setor econômico analisado, como da região onde este setor está desenvolvendo suas atividades.

REFERÊNCIAS

- AALIREZAEI, A. *et al.* Prediction of water security level for achieving sustainable development objectives in Saskatchewan, Canada: implications for resource conservation in developed economies. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 311, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127521>. Acesso em: 1 jul. 2022.
- ALMEIDA, E. S. **Econometria Espacial Aplicada**. Campinas: Alínea, 2012. 498 p.
- AMELIN, L. Local Indicators of Spatial Association-LISA. **Geographical Analysis**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 93-115, 2010. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1538-4632.1995.tb00338.x>. Acesso em: 1 jul. 2022..
- AMORIM, A. L.; CORONEL, D. A.; TEIXEIRA, E. C. A Agropecuária na economia brasileira: uma análise de Insumo Produto. **Perspectiva econômica**, São Leopoldo, n. 2, p. 1-19, jul./dez. 2009. Disponível em: http://revistas.unisinos.br/index.php/perspectiva_economica/article/view/4294. Acesso em: 28 dez. 2020.
- ANSELIN, L. Spatial externalities, spatial multipliers, and spatial econometrics. **International Regional Science Review**, California, v. 26, n. 2, p. 153-166, 2003.
- ARAÚJO, M. C. **Análise da integração da cadeia da construção civil na região metropolitana de Fortaleza**. 2015. Dissertação (Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional) – Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/14594>. Acesso em: 18 jul. 2023.
- ASR, E. T. A review of studies on sustainable development in mining life cycle. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 229, p. 213-231, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.029>. Acesso em: 2 ago. 2022.
- BATALHA, M. O. **Gestão Agroindustrial**. 4 ed. São Paulo: Atlas. 2021. 528 pg.
- BATCHELOR, C.; HOOGEVEEN, J.; FAURÈS, J.-M; PEISER, L. Water accounting & auditing guidelines. Revised edition. Roma, Itália: FAO, 2017. 238 p. (FAO water report, 43).. Disponível em: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/d43dad58-d587-48dd-ad0e-7c4a7397a175/>. Acesso em 28 mai. 2019.
- BAO, C.; CHEN, X. Spatial econometric analysis on influencing factors of water consumption efficiency in urbanizing China. **Journal of Geographical Sciences**, [s. l.], v. 27, n. 12, p. 1450–1462. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11442-017-1446-9>. Acesso em: 26 jul. 2022.
- BEKCHANOV, M. *et al.* Systematic review of water-economy modeling applications. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Virginia, v. 143, n. 8. Disponível em: [https://10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000793](https://10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000793). Acesso em: 8 mar. 2022.
- BLACKHURST, B.; HENDRICKSON, C.; VIDAL, J. Direct and Indirect Water Withdrawals for U.S. Industrial Sectors. **Environmental Science & Technology**, Washington, v. 44, n. 6, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/es903147k>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- BOUDHAR, A.; BOUDHAR, S.; IBOURK, A. An input–output framework for analysing relationships between economic sectors and water use and intersectoral water relationships in

Morocco. **Journal of Economic Structures**, [s. l.], v. 6, n. 1, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1186/s40008-017-0068-9>. Acesso em: 17 out. 2019.

BRASIL. Lei n. 9.433, de 9 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 135, n. 6, p. 470-474, 09 jan. 1997. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=09/01/1997&jornal=1&pagina=1&totalArquivos=64>. Acesso em: 17 out. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Cadastro geral de empregados e desempregados (CAGED)**. Brasília, 2018a. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/trabalhador-caged>. Acesso em: 8 out. 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Relação anual de informações sociais (RAIS)**. Brasília, 2018b. Disponível em: <http://trabalho.gov.br/trabalhador-caged>. Acesso em: 08 mar. 2019.

BROCKWELL, E. *et al.* Spatial analysis of water quality and income in Europe. **Water Resources and Economics**, [s. l.], v. 35, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wre.2021.100182>. Acesso em: 17 out. 2019.

BUCHS, A. *et al.* Challenging the ecological economics of water: social and political perspectives. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 190, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107176>. Acesso em: 8 mar. 2022.

BUREK, P. *et al.* **Water futures and solution: fast track initiative: final report: ADA Project Number 2725-00/2014**. Laxenburg, Austria: IIASA, 2016. Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/1/WP-16-006.pdf>. Acesso em: 12 jul. 2022.

CÁMARA, Á.; LLOP, M. D. Sustainability in an Input–Output Model: An Application to Spanish Water Use. **Water**, [s. l.], v. 13, n. 1, p. 1-12, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w13010001>. Acesso em: 14 dez. 2021.

CARVALHO, T. M. N.; SOUZA FILHO, F. D. A. A data-driven model to evaluate the medium-term effect of contingent pricing policies on residential water demand. **Environmental Challenges**, Florida, v. 3, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021000123>. Acesso em: 14 dez. 2021.

CAZCARRO, I.; STEENGE, A.E. Theoretical and Empirical Characterization of Water as a Factor: Examples and Related Issues with the World Trade Model. **Water**, [s. l.], v. 13, n. 4, p. 1-30, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w13040459>. Acesso em: 9 mar. 2021.

CEARÁ. **Projeto Ceará 2050: diagnóstico dos recursos hídricos do Ceará**. Fortaleza, 2018. 89 p. Disponível em: <https://www.ceara2050.ce.gov.br/api/wp-content/uploads/2018/10/ceara-2050-estudo-setorial-especial-recursos-hidricos.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023.

CEARÁ. **Plano de desenvolvimento econômico do Estado do Ceará: diagnóstico detalhado do setor prioritário Energias Renováveis**. Fortaleza, 2018. Disponível em: <https://parquetecnologico.ufc.br/wp-content/uploads/2021/03/diagnostico-detalhado-do-setor-prioritario-energias-renovaveis-plano-de-des.-economico-do-estado-do-ceara.pdf>. Acesso em: 17 jul. 2023.

CEARÁ. **Plano Estadual de Ciência, Tecnologia e Inovação para o desenvolvimento sustentável do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2018. Disponível em: https://www.sct.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/34/2019/01/Plano-estrategia-CC%81gico-CTI-do-Ceara%CC%81-versao-final-com-metas-29_08_2018.pdf. Acesso em: 18 jul. 2023.

CEARÁ. Secretaria dos recursos hídricos. **Plano de Ações Estratégicas de Recursos Hídricos do Ceará**. Fortaleza, 2018. p. 89-106.

CHAN, T. N *et al.* KDV-explorer: a near real-time kernel density visualization system for spatial analysis. **Proc. VLDB Endow.**, [s. l.], v. 14, n. 12, p. 2655–2658, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14778/3476311.3476312>. Acesso em: 2 mar. 2022.

CHAO, B.; XIAOJIE, C. Spatial econometric analysis on influencing factors of water consumption efficiency in urbanizing China. **Journal of Geographical Sciences**, [s. l.], v. 27, n. 12, p. 1450–1462, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11442-017-1446-9>. Acesso em: 21 jun. 2022.

CHEN, G. Q.; LI, J. S. Virtual water assessment for Macao, China: highlighting the role of external trade. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 93, p. 308–317, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.020>. Acesso em 6 nov. 2019.

COMISSÃO DE BRUNDTLAND. **Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, o nosso futuro comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getulio Vargas, 1991.

COSTA, C. C.; GUILHOTO, J. J. M.; IMORI, D. Importância dos setores agroindustriais na geração de renda e emprego para a economia brasileira. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 51, n. 4, p. 787-814, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032013000400010>. Acesso em: 6 nov. 2020

DENG, X. *et al.* (2015). Physical and economic processes of water scarcity and water allocation for integrated river basin management. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, [s. l.], v. 79-82, p. 1, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.05.008>. Acesso em 9 mar. 2020.

DISTEFANO, T.; RICCABONI, M.; MARIN, G. Systemic risk in the global water input-output network. **Water Resources and Economics**, [s. l.], v. 23, p. 28–52, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wre.2018.01.004>. Acesso em: 19 out. 2019.

EAMEN, L.; BROUWER, R.; RAZAVI, S. The economic impacts of water supply restrictions due to climate and policy change: A transboundary river basin supply-side input-output analysis. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 172, p. 106532, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106532>. Acesso em: 9 jul. 2020.

EXPÓSITO, A.; BEIER, F.; BERBEL, J. Hydro-Economic Modelling for Water-Policy Assessment Under Climate Change at a River Basin Scale: A Review. **Water**, [s. l.], v. 12, p. 1559, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12061559>. Acesso em: 9 mar. 2021.

EXPÓSITO, A.; BERBEL, J. 2021. Microeconomic analysis of the water-production function in irrigated almond orchards. In: CONGRESO INTERNACIONAL DE ECONOMÍA APLICADA ASEPELT, 34., 2021, Córdoba, Espanha. **Anais [...]**. Córdoba: Universidade de Córdoba, 2021, p. 1-12. Disponível em: <https://www.cepal.org/pt-br/publicaciones/40990-contas-economicas-ambientais-agua-lico-es-aprendidas-sua-implementacao-brasil>. Acesso em: 05 abr. 2022.

- FANG, D.; CHEN, B. Linkage analysis for the water–energy nexus of city. **Applied Energy**, [s. l.], v. 189, p. 770-779, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.020>. Acesso em: 9 mar. 2021
- FENG, C. *et al.* Uncovering urban food-energy-water nexus based on physical input-output analysis: The case of the Detroit Metropolitan Area. **Applied Energy**, [s. l.], v. 252, p. 113422. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113422>. Acesso em: 19 out. 2019.
- FERREIRA, W. R.; TARGA, M. S.; LABINAS, A. M. O Uso da Água na Indústria de Transformação. **Revista Técnica Ciências Ambientais**, Taubaté, v. 1, n. 2, p. 1-10, 2019. Disponível em: <http://agro.unitau.br/repositorio/index.php/rca/article/view/35>. Acesso em: 21 maio 2022.
- FIRME, V. de A. C. As Relações Setoriais entre Minas Gerais, Restante do Brasil e seus 5 Principais Parceiros Econômicos: Uma Abordagem de Insumo-Produto. **Rev. Bras. Econ.**, Rio de Janeiro, v. 71, n. 4, p. 413-438, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.5935/0034-7140.20170020>. Acesso em: 22 dez. 2020.
- FRANK, A. G. Built development. **Economic Development and Cultural Change**, [Chicago], v. 8, n. 4, part 1, p. 433-440, jul./1960. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1151723>. Acesso em: 8 ago. 2020.
- GAM, I.; REJEB, J. B. Micro-economic analysis of domestic water demand: application of the pseudo-panel approach. **Environmental Challenges**, [s. l.], v. 4, 2021, p. 100118, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100118>. Acesso em: 5 abr. 2022.
- GAO, Dedao *et al.* Assessment of Inter-Sectoral Virtual Water Reallocation and Linkages in the Northern Tianshan Mountains, China. **Water**, [s. l.], v. 12, n. 9, p. 2363, 2020. Disponível em: <https://doi.org/doi:10.3390/w12092363>. Acesso em: 9 mar. 2021.
- GARCIA, S.; MEJIA, A. Characterizing and modeling subnational virtual water networks of US agricultural and industrial commodity flows. **Advances in Water Resources**, [s. l.], v. 130, p. 314-324, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2019.06.013>. Acesso em: 7 nov. 2020.
- GARRONE, P.; GRILLI, L.; MARZANO, R. Price elasticity of water demand considering scarcity and attitudes. **Utilities Policy**, [s. l.], v. 59, p. 100927, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2019.100927>. Acesso em: 05 abr. 2022.
- GOSWAMI, K. B. *et al.* The Role of water resources in socio-economic development. **Int. J. Res. Appl. Sci. Eng. Technol**, [s. l.], v. 5, p. 1669-1674, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Riyadh-Al-Saadi/post/What_is_the_socio-economic_importance_of_groundwater/attachment/5c68602d3843b0544e6664ca/AS%3A727010578026510%401550344237506/download/The+Role+of+Water+Resources+in+Socio-Economic.pdf. Acesso em: 21 maio 2022.
- GUILHOTO, J. J. M. *et al.* **Construção da matriz inter-regional de insumo-produto para o Brasil: uma aplicação do TUPI**. São Paulo: NEREUS, 2017. Disponível em: <http://www.usp.br/nereus/?txtdiscussao=construcao-da-matriz-inter-regional-de-insumo-produto-para-o-brasil-uma-aplicacao-do-tupi>. Acesso em: 16 out. 2019.
- GUILHOTO, J. J. M. *et al.* **Matriz de Insumo-Produto do Nordeste e Estados - NEREUS**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.usp.br/nereus/?p=933>. Acesso em: 16 jun. 2020.

GUITTON, H. Reviewed work: studies in inter-sectoral relations by P. Norregaard Rasmussen. **Revue Économique**, Paris, v. 8, n. 6, p. 1103–1104, 1957. Disponível em: <https://doi:10.2307/3498675>. Acesso em: 8 ago. 2020.

GUJARATI, D. N.; POTER, D. C. **Econometria básica**. 5 ed. São Paulo: Makron Books, 2011. 918p.

HENNINGER, N; SNEL, M. **Where are the poor?** Experiences with the development and use of poverty maps. Washington: World Resources Institute, 2002. 72 p. Disponível em: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/8582/280.pdf?sequence=3&isAllowed>. Acesso em: 10 jan. 2022.

HOBUS, S. Y. P. **A importância do empreendedorismo para o crescimento econômico brasileiro: uma análise a partir das barreiras institucionais**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Economia) – Centro Universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí, Rio do sul, 2021. Disponível em: <https://www.unidavi.edu.br/bibliotecatrabalhos/consultartrabalho/trabalho/59347/arquivo/59346/download>. Acesso em: 18 jul. 2023.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. The water footprints of Morocco and the Netherlands: global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities. **Ecological Economics** [s. l.], v. 64, n. 1, p. 143-151, 2007. Disponível em: <https://ayhoekstra.nl/pubs/Hoekstra-Chapagain-2007b.pdf>. Acesso em: 18 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades e Estados: população estimada**. Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce.html>. Acesso em: 30 nov. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Comissão Nacional de Classificação de Atividades Econômicas – CONCLA: Indústria de Transformação - CNAE 2.0 (RES 02/2010)**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://concla.ibge.gov.br/busca-online-cnae.html?view=secao&tipo=cnae&versaoclasse=7&secao=C>. Acesso em: 11 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 4 maio 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Industrial Anual - Empresa**. Rio de Janeiro, 2018a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/>. Acesso em: 16 maio 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de Contas Econômicas Ambientais da Água do Brasil: 2018 - 2020**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/20207-contas-economicas-ambientais-da-agua-brasil.html>. Acesso em: 17 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema de Contas Regionais – SCR – Tabelas especiais**. Rio de Janeiro, 2018c. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 12 abr. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ceará em mapas**. Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 6 jun. 2020.

- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ceará em Mapas:** informações georreferenciadas e espacializadas para os 184 municípios cearenses. Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 18 jul. 2022.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Produto interno bruto - nº6 – novembro de 2020.** Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 22 dez. 2020.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ.. **PIB do Ceará nas óticas da produção e da renda – 2018.** Fortaleza, 2020. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 30 nov. 2021.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ.. **PIB do Ceará nas óticas da produção e da renda – 2019.** Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 16 maio 2022.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ.. **PIB do Ceará nas óticas da produção e da renda – 2020.** Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br>. Acesso em: 9 jul. 2023.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Tabela de recursos e usos e matriz de insumo-produto do Ceará – 2013.** Fortaleza, 2018b. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em 16 mai. 2019.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Plano estadual de convivência com a seca ações emergenciais e estruturantes (2015).** Fortaleza, 2018c. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/>. Acesso em 16 mai. 2019.
- INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ. **Ipece Informe Nº 142 – PIB dos municípios cearenses – 2016.** Fortaleza, 2018d. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov.br/pib-municipal/>. Acesso em: 21 jul. 2019.
- JOCA, E. L. L.; SOUZA FILHO, F. A. **Planos de recursos hídricos das regiões hidrográficas do Ceará:** diagnóstico da região hidrográfica da serra da ibiapaba. Fortaleza: COGERH, 2021. Disponível em: https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2021/09/DIAGN%C3%93STICO_RHSI.pdf. Acesso em: 18 fev. 2022.
- KAHIL, M. T. *et al.* Hydro-economic modeling with aquifer-river interactions to guide sustainable basin management. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 539, p. 510-524, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.057>. Acesso em: 28 dez. 2020.
- KE, W. *et al.* A multi-objective input–output linear model for water supply, economic growth and environmental planning in resource-based cities. **Sustainability**, [Basel], v. 8, n. 2, p. 1-18, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su8020160>. Acesso em: 9 mar.2021.
- KHADEM, M.; ROUGÉ, C.; HAROU, J. J. What do economic water storage valuations reveal about optimal vs. historical water management? **Water Resources and Economics**, [s. l.], v. 32, 2020. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.wre.2020.100158>. . Acesso em: 28 maio 2020.
- KONCAGÜL, E.; TRAN, M.; CONNOR, R. **Relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos 2020:** água e mudança climática, fatos e dados. [S.l.], 2020. Disponível: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372876_por. Acesso: 13 abr. 2022.
- KRUSKAL, J. B. On the Shortest Spanning Subtree of a Graph and the Traveling Salesman Problem. **American Mathematical Society**, [s. l.]. v. 7, n. 1, p. 48-50, 1956. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/2033241>. Acesso em: 12 fev. 2021.

- KUMAR, M. D. Physical transfer of water versus virtual water trade: economic and policy considerations. **Water Economics and Policy**, [s. l.], v. 4, n. 3, p. 1-22, 2017. Disponível em: <https://doi:10.1142/S2382624X18500017>. Acesso em: 12 nov. 2020.
- KUNZ, N. C.; KASTELLE, T.; MORAN, C. J. Social network analysis reveals that communication gaps may prevent effective water management in the mining sector. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 148, p. 915-922, 2017. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.jclepro.2017.01.175>. Acesso em: 9 jul. 2020.
- LAN, J.; LIU, Z. Social network effect on income structure of SLCP participants: evidence from Baitoutan Village, China. **Forest Policy and Economics**, [s. l.], v. 106, p. 101958, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.101958>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- LI, M. *et al.* Managing agricultural water and land resources with tradeoff between economic, environmental, and social considerations: a multi-objective non-linear optimization model under uncertainty. **Agricultural Systems**, [s. l.], v. 178, 2020. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.agsy.2019.102685>. Acesso em: 5 maio 2020.
- LIMA, P.V.P.S . **Relações econômicas do Ceará e a importância da água e da energia elétrica no desenvolvimento do Estado**. 2002. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba , 2002.
- LIN, L. *et al.* Provincial virtual energy-water use and its flows within china: a multiregional input-output approach. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.]. v. 151, p. 104486. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104486>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- LISBOA, L. *et al.* Matriz de coeficientes técnicos de recursos hídricos para o setor industrial brasileiro. **Revista Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 19, n. 3, p. 327-337, jul./set., 2014. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?BUSCA=ARTIGOS&iPUB=1&Q=MatrizdeCoeficientesTécnicos de Recursos Hídric>. Acesso em: 25 jul. 2020.
- LIU, S. *et al.* A three-scale input-output analysis of water use in a regional economy: Hebei province in China. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.] v. 156, p. 962–974, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617308016>. Acesso em: 25 jul. 2020.
- LIU, Yating; CHEN, Bin. Water-energy scarcity nexus risk in the national trade system based on multiregional input-output and network environ analyses. **Applied Energy**, [s. l.], v. 268, p. 114974, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114974>. Acesso em: 9 mar. 2020.
- LIU, Ziwen *et al.* Water-energy nexus within urban agglomeration: an assessment framework combining the multiregional input-output model, virtual water, and embodied energy. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 164, p. 105113, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105113>. Acesso em: 8 mar. 2022.
- LOWE, B. H.; ZIMMER Y; OGLETHORPE, D. R. Estimating the economic value of green water as an approach to foster the virtual green-water trade. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 136, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108632>. Acesso em: 26 jul. 2022.
- LOWE, B. H.; OGLETHORPE, D. R.; CHOUDHARY, S. Shifting from volume to economic value in virtual water allocation problems: a proposed new framework and methodology.

Journal of Environmental Management, [s. l.], v. 275, p. 110239, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110239>. Acesso em: 05 jul. 2022.

LUCENA, A. F.; CAMPOS, F. R.; SANTOS, J. F. Exportações e desenvolvimento econômico regional em Goiás. **Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional**, Blumenau, v. 9, n. 2, p. 189-210, 2021. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rbdr/article/view/8908>. Acesso em: 10 jan. 2022.

LUZARDO, A. J. R.; CASTAÑEDA FILHO, R. M.; RUBIM, I. B. Análise espacial exploratória com o emprego do índice de moran. **GEOgraphia**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 40, p. 161 – 179, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2017.v19i40.a13807>. Acesso em: 21 set. 2021.

MARTÍNEZ-LAGUNES, R. **As contas econômicas ambientais da água: Lições aprendidas para sua implementação no Brasil**. Santiago de Chile: CEPAL, 2017. Disponível em: <https://www.cepal.org/pt-br/publicaciones/40990-contas-economicas-ambientais-agua-lico-es-aprendidas-sua-implementacao-brasil>. Acesso em: 17 set. 2019.

MA, T. *et al.* Energy flow matrix modeling and optimal operation analysis of multi energy systems based on graph theory. **Applied Thermal Engineering**, [s. l.], v. 146, p. 648–663, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.10.022>. Acesso em: 05 nov. 2019.

MEDEIROS, C. N.; CARVALHO, J. R.; OLIVEIRA, V. H.. Violência, desenvolvimento e demografia: uma análise espacial para a cidade de Fortaleza em anos recentes. *In*: BARRETO, F. A. F. D *et al.* (org.). **Economia do Ceará em debate 2015**. Fortaleza: IPECE, 2015. p. 8-41. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319314947_Violencia_desenvolvimento_e_demografia_uma_analise_especial_para_a_cidade_de_Fortaleza_em_anos_recentes. Acesso em: 3 maio 2021.

MEDEIROS, C. N.; PINHO NETO, V. R. Os determinantes espaciais da extrema pobreza no estado do ceará – 2010. **IPECE Textos para Discussão**, Fortaleza, n. 97, p. 1-49, 2011. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2014/02/TD_97.pdf. Acesso em: 3 out. 2021.

MENDES JUNIOR, Biagio de Oliveira. Indústria têxtil. **Caderno setorial Etene**, ano 7, n. 253, p. 1-12, 2022. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1462/1/2022_CDS_253.pdf. Acesso em: 18 jul. 2023.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis: foundations and extensions**. 2nd ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009. 784p.

MOHAN, Geetha *et al.* An extended Input–Output framework for evaluating industrial sectors and provincial-level water consumption in Indonesia. **Water Resources and Industry**, [s. l.], v. 25, p. 100141, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2021.100141>. Acesso em: 21 maio 2023.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude: construir, conservar e aproveitar pequenos açudes no nordeste brasileiro**. Recife: SUDENE, 1992.

MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. B. Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. **Revista Brasileira de Economia**, Rio de Janeiro, v. 74, n. 4, p. 441-464, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0034-7140.20200021>. Acesso em: 08 mar. 2022.

- MOURA JUNIOR, Á. A. de *et al.* Indústria extrativa mineral no brasil: uma análise a partir do paradigma estrutura-conduta-desempenho (ecd). **Pesquisa e Debate**, São Paulo, v. 30, n. 2, 2018. Disponível em: https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/6-pos-graduacao/upm-higienopolis/mestrado-doutorado/economia_mercados/2019/Publica%C3%A7%C3%B5es_Professores_e_Alunos/Ind%C3%BAstria_Extrativa_Mineral_no_Brasil.pdf. Acesso em: 17 jul. 2023.
- NASCIMENTO FILHO, R. A. V. **Uma análise das políticas de incentivos fiscais na indústria cearense (2000 – 2014)**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Finanças) - Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/60419>. Acesso em: 18 jul. 2023.
- NAWAB, A. *et al.* Urban energy-water nexus: spatial and inter-sectoral analysis in a multi-scale economy. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 403, p. 44–56, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.04.020>. Acesso em: 03 out. 2019.
- NATIONAL BUREAU OF STATISTICS OF CHINA. **National accounts: gross national product – annual by provinces (Beijing)**. Beijing, 2023. Disponível em: <https://data.stats.gov.cn/english/easyquery.htm?cn=E0103>. Acesso em 29 maio 2023.
- NEVES, M. D. C. R.; CASTRO, L. S. D.; FREITAS, C. O. D. O impacto das cooperativas na produção agropecuária brasileira: uma análise econométrica espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [Brasília], v. 57, p. 559-576, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187145>. Acesso em: 19 dez. 2021.
- NOGUEIRA, P. I. S. **Perfil da agroindústria no Ceará**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/69301>. Acesso em: 18 jul. 2023.
- OWUSU-SEKYERE, E.; SCHEEPERS, M. E.; JORDAAN, H. Economic water productivities along the dairy value chain in south africa: implications for sustainable and economically efficient water-use policies in the dairy industry. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 134, p. 22–28, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.12.020> . Acesso em: 26 jul. 2022.
- PANZERA, D.; POSTIGLIONE, P. The impact of regional inequality on economic growth: a spatial econometric approach. **Regional Studies**, [s. l.], v. 5, n. 5, p. 687-702, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00343404.2021.1910228>. Acesso em: 26 jul. 2022.
- PETRUCCI, A; SALVATI, N; SEGHIARI, C. **The Application of a spatial regression model to the analysis and mapping of poverty**. Roma: FAO, UNI, 2003. (Environment and natural resources series 07).
- PFISTER, S. *et al.* Understanding the LCA and ISO water footprint: a response to Hoekstra (2017): a critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 72, p. 352–359, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.051>. Acesso em: 4 nov. 2020.
- PICOLI, I. T. **Pegada hídrica da economia brasileira: uma análise de insumo-produto**. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) - Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_5b95d7087d95f6959746e08b626c7e43. . Acesso em: 4 nov. 2020.

- PINTO, F. S.; CARVALHO, B.; MARQUES, R. C. Adapting water tariffs to climate change: linking resource availability, costs, demand, and tariff design flexibility. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 290, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.125803>. Acesso em: 08 abr. 2022.
- RAFIEI-SARDOOI, Elham *et al.* Long-term assessment of land-use and climate change on water scarcity in an arid basin in Iran. **Ecological Modelling**, [s. l.], v. 467, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2022.109934>. Acesso: 26 jul. 2022.
- REN, Y. *et al.* Inter-regional agricultural virtual water flow in china based on volumetric and impact-oriented multi-regional input-output (mrio) approach. **Water**, [s. l.], v. 12, n. 251, p. 1-16, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w12010251>. Acesso: 14 dez. 2020.
- ROSON, R.; DAMANIA, R. (2017). The macroeconomic impact of future water scarcity: An assessment of alternative scenarios. **Journal of Policy Modeling**, [s. l.], v. 39, n. 6, p. 1141-1162, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jpolmod.2017.10.003>. Acesso em: 11 abr. 2022.
- RUDENKO, L. *et al.* The added value of a water footprint approach: micro- and macroeconomic analysis of cotton production, processing and export in water bound Uzbekistan. **Global and Planetary Change**, [s. l.], v. 110, p. 143-151, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.09.007>. Acesso em: 24 mar. 2022.
- RUESS, Paul. Book Review: the water footprint of modern consumer society. **Water Economics and Policy**, [s. l.], v. 6, n.3, p. 1-4, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1142/S2382624X20800016>. Acesso em: 14 dez. 2020.
- SALVIAN, M. **Multicolinearidade**. Piracicaba, USP, 2016. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/2340848/mod_resource/content/0/Mayara_Multicolinearidade.pdf. Acesso em: 31 maio 2023.
- SANTANDER TRADE. **Economia da Espanha**: indicadores econômicos - principais setores econômicos. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://santandertrade.com/pt/portal/analise-os-mercados/espanha/economia>. Acesso em 26 maio 2023.
- SANTANDER TRADE. **Contexto econômico do Marrocos**: indicadores econômicos - principais setores econômicos. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.tradeclub.standardbank.com/portal/pt/market-potential/marrocos/economical-context>. Acesso em 26 maio 2023.
- SETLHOGILE, T.; ARNTZEN, J.; PULE, O. B. Economic accounting of water: the Botswana experience. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, [s. l.], v. 100, p. 287-295, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.10.007>. Acesso em: 04 nov. 2019.
- SOARES, R. B. *et al.* Análise insumo-produto regional de recursos hídricos para o Ceará. In: SOUZA FILHO, F. A. *et al.* (org.). **ADAPTA**: gestão adaptativa do risco climático de seca. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2019. p. 617-642. Disponível em: http://www.adapta.ufc.br/livro_adapta.pdf. Acesso em: 04 nov. 2019.
- SOARES, R. B.; SALES, R. S. **IPECE Informe**: agricultura familiar e segurança alimentar no Ceará. Nº 220 – Dezembro 2022. Fortaleza: IPECE, 2022. Disponível em: https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2022/12/ipece_informe_220_20Dez2022_.pdf. Acesso em: 18 jul. 2023.

- SUDENE. SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (Brasil). Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017. Municípios aprovados pela Resolução CONDEL nº 107/2017. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 154, n. 232, p. 26-34, 5 dez. 2017. Disponível em: http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/739568/do1-2017-12-05-resolucao-n-115-de-23-de-novembro-de-2017-739564. Acesso em: 16 ago. 2019.
- TASÓN, J. E. *et al.* Socioeconomic impact of 2005–2008 drought in Andalusian agriculture. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 826. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154148>. Acesso em: 13 abr. 2022.
- TEIXEIRA, A. F.; LANA, Â. M. Q.; SILVA, D. D. Desenvolvimento da matriz de coeficiente técnico para recursos hídricos no Brasil. Brasília: Fundação Banco do Brasil; Ministério do Meio Ambiente; FUNARTE, 2011. 265 p. (Relatório técnico, 6). Disponível em: <https://www.terrabrasil.org.br/ecotecadigital/index.php/estantes/diversos/1416-desenvolvimento-de-matriz-de-coeficientes-tecnicos-para-recursos-hidricos-no-brasil>. Acesso em: 28 fev. 2019.
- THE UNITED Nations world water development report 2021: valuing water. Paris: UNESCO, 2021. 187 p. Disponível em: https://reliefweb.int/report/world/united-nations-world-water-development-report-2021-valuing-water?gclid=Cj0KCQjwmICoBhDxARIsABXkXILkro9noa3qBFGL9XKaLDBqGI_wSSiG8BU2V88Ru0axLsel8yxxk8UaAu12EALw_wcB. Acesso em: 3 maio 2022.
- TIAN, Z.; WANG, S.; CHEN, Bi. (2019) A three-scale input-output analysis of blue and grey water footprint for Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration. **Energy Procedia**, [s. l.], v. 158, p. 4049-4054, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.833>. Acesso em: 04 nov. 2019.
- TIANHONG, L.; SONGNAN, Y.; MINGXIN, T. Simulation and optimization of water supply and demand balance in Shenzhen: a system dynamics approach. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 207, p. 882-893. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.052>. Acesso em: 07 nov. 2019.
- USSAMI, K. A.; MARTINS GUILHOTO, J. J. Economic and water dependence among regions: the case of Alto Tiete, Sao Paulo State, Brazil. **Economia**, Niterói, v. 9, n. 3, p. 350-376. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.econ.2018.06.001>. Acesso em: 03 out. 2019.
- VELÁZQUEZ, E. (2006). An input–output model of water consumption: Analysing intersectoral water relationships in Andalusia. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 56, n. 2, p. 226–240. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.09.026>. Acesso em: 7 out. 2019.
- VILLES, V. S. *et al.* Água como bem econômico: dessalinização para o combate da escassez hídrica no agronegócio. **Multitemas**, Campo Grande, MS, v. 24, n. 57, p. 217-231. Disponível: <https://doi.org/10.20435/multi.v24i57.2152>. Acesso: 23 mar. 2022.
- WANG, Q.; WANG, X. Is economic growth decoupling from water use? Empirical analysis of 31 Chinese provinces. **Science of The Total Environment**, [s. l.], v. 726, n. 6, p. 138362, 2020. Disponível em: <https://doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138362>. Acesso em: 19 jan. 2022.
- WANG, S.; LI, R. Toward the coordinated sustainable development of urban water resource use and economic growth: An empirical analysis of Tianjin City, China. **Sustainability**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 1323, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/10/5/1323>. Acesso em: 19 jan. 2022.

- WANG, X. *et al.* An input-output structural decomposition analysis of changes in sectoral water footprint in China. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 69, p. 26–34, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X16301339>. Acesso em: 19 jan. 2022.
- WANG, Y. *et al.* Periodic nonlinear economic model predictive control with changing horizon for water distribution networks. **IFAC-PapersOnLine**, [s. l.], v. 50, n. 1, p. 6588-6593, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.617>. Acesso em: 16 nov. 2020.
- WANG, Z. *et al.* Virtual water flow pattern of grain trade and its benefits in China. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 223, p. 445-455, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.151>. Acesso em: 06 nov. 2019.
- WEINHEIMER, J. *et al.* (2013). Modeling resource use responses to macroeconomic changes: water in the us southern great plains. **Natural Resources**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 8-19, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/nr.2013.41002>. Acesso em: 12 jul. 2022.
- YANG, T. *et al.* Achieving win-win policy outcomes for water resource management and economic development: the experience of chinese cities. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], v. 27, p. 873-888, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.006>. Acesso em: 18 ago. 2022.
- ZHAI, M. Ecological network analysis of an energy metabolism system based on input-output tables: model development and case study for Guangdong. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 227, p. 434-446, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.039>. Acesso em: 6 jul. 2020.
- ZHANG, C.; ANADON, L. D. (2014). A multi-regional input–output analysis of domestic virtual water trade and provincial water footprint in China. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 100, p. 159–172, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2014.02.006>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- ZHANG, Z.; YANG, H.; SHI, M. Analyses of water footprint of Beijing in an interregional input-output framework. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 70, n. 12, p. 2494–2502, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.01>. Acesso em: 14 out. 2019.
- ZHAO, H. *et al.* Virtual water scarcity risk under climate change. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], v. 27, p. 873-888, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.114>. Acesso em: 06 nov. 2019.

APÊNDICE A – CÁLCULO DOS COEFICIENTES TÉCNICOS DAS LAVOURAS IRRIGADAS E CONSUMO ANIMAL, ESTADO DO CEARÁ, 2013.

Quadro 8 - Cálculo dos coeficientes técnicos de demanda hídrica das lavouras irrigadas, Ceará, 2013.

	Área Colhida (ha)	Valor da Produção (R\$)	Produção (t)	Kc	Sistema de Irrigação	Eficiência do Sistema de Irrigação	ETc (mm)	Etc Corrigido (mm)	Precipitação (mm)	Vol. Água / ha (Bruto) (m³)	Vol. Total de Água (m³)	R\$/M³ (m³)
Abacate	15	194.901,00	145	0,85	microaspersão	0,74	1.080,26	1.459,81	696,66	14.598	218.972	0,89
Abacaxi	179	12.142.166,00	9.571	0,53	aspersão	0,64	609,05	951,64	696,66	9.516	1.703.429	7,13
Algodão Herbáceo (em caroço)	86	3.921.750,00	581	0,42	micro-aspersão	0,74	447,07	604,15	696,66	6.041	519.565	7,55
Arroz (em casca)	7.134	29.507.310,00	43.317	1,15	Inundação	0,54	1.537,69	2.847,57	696,66	28.476	203.145.558	0,15
Banana	10.134	183.867.204,40	182.062	1,20	micro-aspersão	0,74	1.616,46	2.184,41	696,66	21.844	221.368.309	0,83
Batata-doce	1.203	16.417.578,30	16.618	0,72	Inundação	0,54	888,83	1.645,98	696,66	16.460	19.801.165	0,83
Cana-de-Açúcar	4.141	13.026.465,50	282.792	0,74	Inundação	0,54	918,28	1.700,52	696,66	17.005	70.418.562	0,18
Castanha de caju	13.129	6.501.069,55	3.512	0,65	micro-aspersão	0,74	785,75	1.061,83	696,66	10.618	139.407.339	0,05
Cebola - 1a Safra	80	600.300,00	315	0,82	gotejamento	0,74	1.036,08	1.400,11	696,66	14.001	1.120.091	0,54
Coco-da-baía	4.964	31.836.485,64	51.847	1,00	micro-aspersão	0,74	1.301,35	1.758,59	696,66	17.586	87.296.236	0,36
Feijão (em grão) - 1a Safra	409	380.320,00	196	0,83	aspersão	0,64	1.050,81	1.641,89	696,66	16.419	6.715.332	0,06
Feijão (em grão) - 2a Safra	4.902	16.381.327,10	5.766	0,83	aspersão	0,64	1.050,81	1.641,89	696,66	16.419	80.485.476	0,20
Feijão	5.311	16.761.647	5.962	0,83	aspersão	0,64	1.050,81	1.641,89	696,66	16.419	87.200.809	0,19
Goiaba	804	11.739.171,05	11.456	0,63	micro-aspersão	0,74	756,30	1.022,03	696,66	10.220	8.217.114	1,43
Laranja	320	1.651.807,00	3.456	0,80	micro-aspersão	0,74	1.006,63	1.360,32	696,66	13.603	4.353.011	0,38
Limão	926	4.568.240,70	6.495	0,80	micro-aspersão	0,74	1.006,63	1.360,32	696,66	13.603	12.596.524	0,36
Mamão	1.715	56.106.751,89	86.570	0,80	micro-aspersão	0,74	1.006,63	1.360,32	696,66	13.603	23.329.416	2,40
Mandioca	15	52.540,80	52	0,64	aspersão	0,64	771,03	1.204,73	696,66	12.047	180.709	0,29
Manga	260	1.882.750,00	3.070	0,71	micro-aspersão	0,74	874,10	1.181,22	696,66	11.812	3.071.179	0,61
Maracujá	9.084	255.025.743,54	210.886	0,69	micro-aspersão	0,74	844,65	1.141,42	696,66	11.414	103.686.994	2,46
Melancia	1.643	47.513.600,00	64.291	0,72	gotejamento	0,74	888,83	1.201,12	696,66	12.011	19.734.436	2,41
Melão	7.320	166.259.350,00	212.305	0,84	gotejamento	0,74	1.065,54	1.439,91	696,66	14.399	105.401.609	1,58
Milho (em grão)	350	2.982.000,00	2.485	0,76	aspersão	0,74	947,73	1.280,72	696,66	12.807	4.482.516	0,67
Tangerina	9	58.745,00	59	0,80	micro-aspersão	0,74	1.006,63	1.360,32	696,66	13.603	122.428	0,48
Tomate	1.967	185.465.806,75	104.600	0,66	gotejamento	0,74	800,48	1.081,73	696,66	10.817	21.277.565	8,72
Uva	22	356.020,00	145	0,60	gotejamento	0,74	712,13	962,33	696,66	9.623	211.713	1,68

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Cálculo dos coeficientes técnicos para o consumo animal de água, Ceará, 2013.

Para a realização do cálculo estimado da demanda hídrica na pecuária, foi aplicada a metodologia BEDA (Bovinos Equivalentes para a Demanda de Água), considerando os diferentes tipos de animais e suas necessidades de água. Sendo que o BEDA é uma unidade que representa o consumo médio de água de um bovino adulto por dia. O consumo de dessedentação para os demais animais pondera o que cada espécie de animal consome em relação a um bovino adulto, usando fatores de conversão baseados em suas características fisiológicas e produtivas.

$$BEDA = \sum Bovino + \sum Equino + \sum Bubalino + \frac{\sum Ovino}{5} + \frac{\sum Suíno}{5} + \frac{\sum Aves}{3}$$

Quadro 9 – Coeficientes técnicos para o consumo animal de água, Ceará, 2013.

Tipo de rebanho	Número de Animais	BEDA (litros/animal/dia)	Número de dias no ano	Consumo estimado de água (m³)	Valor bruto da Produção (R\$)	Coefficiente Técnico (R\$/m³)
Bovino	2.591.067	45	365	42.558.275	657.514.990	15,45
Bubalino	1.514	45	365	24.867	384.196	15,45
Equino	128.602	45	365	2.112.288	32.634.333	15,45
Vacas Ordenhadas	561.325	100	365	20.488.363	552.102.803,15	26,95
Caprino	1.029.763	8	365	3.006.908	57.224.134	19,03
Ovino	2.062.654	8	365	6.022.950	114.622.092	19,03
Suíno - total	1.138.424	9	365	3.739.723	63.262.447	16,92
Galináceos Total	28.394.243	15	365	155.458.480	346.051.880	2,23
Codornas	114.635	5	365	209.209	1.397.102	6,68
Galinhas	8.959.684	15	365	49.054.270	303.309.774,67	6,18

Fonte: Elaborado pelos autor (2023).

Quadro 10 – Coeficiente técnico para o consumo de água da pesca e aquicultura, Ceará, 2013.

Total	Produção (Kg)	Área (ha)	Valor da Produção (R\$)	m ³ *	R\$/m ³
Camarão (Quilogramas)	33.949.805	7.453,31	395.178.000,00	259.375.020	1,52
Tilápia (Quilogramas)	30.634.375	437,63	169.180.000,00	15.229.661	11,11
Larvas e pós-larvas de camarão (Milheiros)	1.732.000	28,87	11.726.000,00	1.004.560	11,67
Alevinos (Milheiros)	54.315	5,43	3.762.000,00	189.016	19,90
Tambaqui (Quilogramas)	13.500	0,15	67.000,00	5.220	12,84
Curimatã, curimatá (Quilogramas)	6.800	0,11	60.000,00	3.944	15,21
Pintado, cachara, cachapira e pintachara, surubim (Quilogramas)	6.000	0,10	26.000,00	3.480	7,47
Carpa (Quilogramas)	5.500	0,09	17.000,00	3.190	5,33
Piau, piapara, piaçu, piava (Quilogramas)	2.800	0,05	7.000,00	1.624	4,31
Traíra e trairão (Quilogramas)	900	0,45	3.000,00	15.559	0,19
Total (Pesca e Aquicultura)	66.405.995	7.926	580.026.000	275.831.273	2,10

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

* Cada hectare explorado com a produção de peixes demanda em média 34.800 m³ de água.

Coefficientes técnicos para o consumo de água das atividades econômicas que compõem os setores da Indústria e Serviços, Ceará, 2013.

Para o cálculo dos Quocientes Locacionais das atividades da Indústria e de Serviços, foi utilizada a seguinte fórmula (LIMA, 2002; GUILHOTO et al., 2017):

$$LQ_i^R = \left[\frac{X_i^R / X^R}{X_i^N / X^N} \right]$$

Em que, X_i^R é a produção total do setor i da região R ; X^R é a produção total da região R ; X_i^N é a produção nacional total do setor i ; e X^N é a produção nacional total. Se $LQ_i^R < 1$, então o Coeficiente Técnico de Demanda Hídrica Regional = $LQ_i^R \times$ Coeficiente Técnico de Demanda Hídrica Nacional. E se $LQ_i^R \gg 1$, então o Coeficiente Técnico de Demanda Hídrica Regional = Coeficiente Técnico de Demanda Hídrica Nacional.

Os Quocientes Locacionais foram utilizados para regionalizar os coeficientes técnicos dos setores da Indústria e de serviços do Estado do Ceará, avaliando o nível de especialização dos setores produtivos (Indústria e Serviços) do Ceará, uma vez que compara a participação de cada setor do Ceará em relação à sua participação no total do Estado a mesma relação para o Brasil (LIMA, 2002; Guilhoto *et al.*, 2017).

Quadro 11 – Coeficiente Técnico Locacional das atividades econômicas que compõem os setores da Indústria e Serviços com base na mão-de-obra ocupada, Brasil e Ceará, 4º Trimestre - 2013.

Grupo de atividades no trabalho principal - PNADC	Pessoas de 14 anos ou mais de idade ocupadas na semana de referência (Mil pessoas)		Coeficiente Locacional (CE/Br)
	Brasil	Ceará	
Total	92.170	3.530	-
Agricultura, pecuária, produção florestal, pesca e aquicultura	10.198	498	1,2751
Indústria geral	13.119	508	1,0111
Indústria de transformação	11.650	467	1,0467
Construção	8.295	305	0,9601
Comércio, reparação de veículos automotores e motocicletas	17.781	768	1,1278
Transporte, armazenagem e correio	4.256	114	0,6994
Alojamento e alimentação	4.230	183	1,1296
Informação, comunicação e atividades financeiras, imobiliárias, profissionais e administrativas	9.811	259	0,6893
Administração pública, defesa, seguridade social, educação, saúde humana e serviços sociais	14.527	526	0,9454
Outro serviço	4.103	139	0,8846
Serviço doméstico	5.835	231	1,0337

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Quadro 12 – Coeficientes técnicos para o consumo de água das atividades econômicas que compõem os setores da Indústria e Serviços, Ceará, 2013.

Setores Econômicos da Indústria	Pessoal Ocupado Ceará	Valor Bruto da Produção (R\$)	Coefficiente Técnico - Brasil (m³/M.O)	Coefficiente Locacional (CE/Br)	Coefficiente Técnico - Ceará (m³/M.O)	Demanda Hídrica (m³)	Coefficiente Técnico - Ceará (R\$/m³)
Indústrias extrativas	3.959	1.070.910.715,45	4.626,85	1,0111	4.626,85	18.317.716,18	58,46
Fabricação de produtos alimentícios	66.834	7.719.687.552,32	118,42	1,0467	118,42	7.914.520,81	975,38
Fabricação de bebidas	13.285	2.290.996.235,16	858,63	1,0467	858,63	11.406.933,01	200,84
Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	303,513	10.442.145.685,40	141,97	1,0467	141,97	43.088.462,62	242,34
Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	15.654	1.035.556.116,75	139,88	1,0467	139,88	2.189.654,46	472,93
Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	864	1.506.798.219,99	1.312,63	1,0111	1.312,63	1.134.644,28	1.327,99
Fabricação de produtos químicos	8.563	1.573.934.158,28	50,11	1,0467	50,11	429.059,22	3.668,34
Fab. de produtos farmacêuticos e farmacêuticos	3.778	238.854.470,10	6,71	1,0467	6,71	25.335,24	9.427,76
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	10.335	505.447.463,81	7,46	1,0467	7,46	77.085,86	6.556,94
Fabricação de produtos de minerais não metálicos	31.559	1.977.760.699,82	60,22	1,0467	60,22	1.900.322,20	1.040,75
Metalurgia	8.834	1.942.266.691,05	175,78	1,0467	175,78	1.552.960,94	1.250,69
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	17.841	752.466.190,41	16,71	1,0467	16,71	298.094,79	2.524,25
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	14.034	1.421.099.132,55	8,66	1,0467	8,66	121.583,69	11.688,24
Fabricação de máquinas e equipamentos	4.583	205.443.946,61	3,62	1,0467	3,62	16.571,77	12.397,23
Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	8.069	542.180.033,59	3,23	1,0467	3,23	26.096,29	20.776,13
Outras atividades industriais	20.252	1.071.206.790,90	17,87	1,0467	17,87	361.881,31	2.960,11
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equip	4.955	434.150.926,87	27,34	1,0467	27,34	135.436,10	3.205,58
Electricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	21.391	7.164.368.951,84	182,10	1,0467	182,10	3.895.336,65	1.839,22
Construção	312.588	14.772.690.510,86	19,74	0,9601	18,95	5.924.508,80	2.493,49
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	726.875	20.741.837.135,96	16,54	1,1278	16,54	12.019.037,17	1.725,75
Transporte, armazenagem e correio	144.942	7.143.503.885,13	12,85	0,6994	8,99	1.302.883,71	5.482,84
Serviços de alojamento	46.497	532.608.229,76	35,49	1,1296	35,49	1.650.062,20	322,78
Serviços de alimentação	179.489	5.417.735.556,25	134,99	1,1296	134,99	24.229.508,22	223,60
Informação e comunicação	30.631	4.647.974.537,95	1.764,67	0,6893	1.216,37	37.258.591,23	124,75
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	25.019	5.900.063.155,40	1.465,00	0,6893	1.009,81	25.264.470,85	233,53
Atividades imobiliárias	8.711	9.713.842.255,94	6.913,27	0,6893	4.765,24	41.510.002,99	234,01
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	244.222	9.400.874.706,88	278,04	0,6893	191,65	46.805.013,60	200,85
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	337.204	28.556.340.984,56	248,47	0,9454	234,91	79.213.051,83	360,50
Educação e saúde privadas	136.904	4.698.221.231,42	575,49	0,9454	544,08	74.487.175,30	63,07
Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	187.384	3.635.463.759,68	279,24	0,8846	279,24	52.324.449,91	69,48
Serviços domésticos	249.644	1.222.297.494,70	40,32	1,0337	40,32	10.065.561,14	121,43

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

**APÊNDICE B - CONSUMO INTERMEDIÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS (M³) INTER SETORIAL: OFERTA E DEMANDA
DE PRODUTOS DOMÉSTICOS - 2013.**

Quadro 13 - Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m³) Inter setorial: Oferta e demanda de produtos domésticos – 2013. Continua.

Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m ³): Oferta e demanda de produtos domésticos - 2013										
Ceará - Total	Agropecuária	Produto/Setor (%)	Setor/CE (%)	Indústria	Produto/Setor (%)	Setor/CE (%)	Serviços	Produto/Setor (%)	Setor/CE (%)	193.471.666,23
Setores	37.479.301,26		19,37%	25.047.819,69		12,95%	130.944.545,29		67,68%	
Produtos da Agropecuária	1.497.386,38	4,00%		4.651.483,02	18,57%		304.142,79	0,23%		
Milho em grão	34.696,00	2,32%		54.095,14	1,16%		86,54	0,03%		
outros cereais	10,47	0,00%		22.070,19	0,47%		9,07	0,00%		
Algodão herbáceo/outras fibras lavouras temp.	0,00	0,00%		942,27	0,02%		0,01	0,00%		
Feijão e fava em grão	564,41	0,04%		0,08	0,00%		237.588,55	78,12%		
Outros prod. lavoura temp. e serv. relacionados	10.366,24	0,69%		148.459,51	3,19%		3.538,63	1,16%		
Banana	1,08	0,00%		23.831,85	0,51%		3.056,39	1,00%		
Coco-da-baía	0,45	0,00%		20.135,35	0,43%		2.529,46	0,83%		
Outros produtos lavoura permanente	0,10	0,00%		1.901,93	0,04%		130,00	0,04%		
Bovinos vivos	119,89	0,01%		331.765,20	7,13%		1,78	0,00%		
Leite de vaca e de outros animais	23.691,45	1,58%		291.379,43	6,26%		27,47	0,01%		
Aves	12.331,86	0,82%		3.610.924,09	77,63%		-			
Ovos de galinha e de outras aves	48.501,46	3,24%		13.220,68	0,28%		30.861,68	10,15%		
Peixe	1.237.986,61	82,68%		65.288,47	1,40%		25.753,75	8,47%		
Outros animais vivos e produtos animais	89.582,06	5,98%		65.262,28	1,40%		559,35	0,18%		
Produtos da exploração florestal e serviços de apoio	39.534,29	2,64%		2.206,57	0,05%		0,12	0,00%		
Produtos do setor da Indústria	1.746.231,03	4,66%		1.561.843,46	6,24%		320.465,71	0,24%		
Produtos da indústria extrativa	2.544,57	0,15%		494.269,00	31,65%		69,63	0,02%		
Produtos alimentícios	1.450.541,92	83,07%		60.693,75	3,89%		48.908,59	15,26%		
Bebidas	0,00	0,00%		52.630,44	3,37%		151.252,01	47,20%		

Quadro 13 - Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m³) Inter setorial: Oferta e demanda de produtos domésticos - 2013.

Produtos têxteis	8,40	0,00%	176.955,82	11,33%	21,95	0,01%
Artigos do vestuário e acessórios	0,00	0,00%	30.309,51	1,94%	3.204,98	1,00%
Calçados e artefatos de couro	-		616,51	0,04%	0,00	0,00%
Produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel	219,97	0,01%	3.178,98	0,20%	170,55	0,05%
Serviços de impressão e reprodução	0,20	0,00%	4.707,27	0,30%	10.663,99	3,33%
Produtos derivados do petróleo e coque	7,10	0,00%	4,73	0,00%	22,75	0,01%
Etanol e outros biocombustíveis	0,14	0,00%	15,54	0,00%	0,68	0,00%
Produtos químicos	210.664,79	12,06%	6.577,87	0,42%	757,49	0,24%
Produtos farmacêuticos	2.160,94	0,12%	123,42	0,01%	5.433,71	1,70%
Artigos de borracha e plástico	452,51	0,03%	1.733,78	0,11%	64,97	0,02%
Produtos de minerais não metálicos	7.175,17	0,41%	92.493,98	5,92%	1.765,13	0,55%
Produtos da metalurgia	230,69	0,01%	18.057,33	1,16%	1,25	0,00%
Produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	655,04	0,04%	3.401,39	0,22%	110,42	0,03%
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	-		172,47	0,01%	6,57	0,00%
Máquinas e equipamentos	8,75	0,00%	661,39	0,04%	61,72	0,02%
Veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,14	0,00%	407,53	0,03%	40,84	0,01%
Produtos do fumo	-		0,48	0,00%	-	
Móveis e produtos diversos	0,00	0,00%	6,94	0,00%	60,12	0,02%
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,21	0,00%	2.204,96	0,14%	350,83	0,11%
Eleticidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	71.416,33	4,09%	550.647,06	35,26%	81.639,29	25,48%
Construção	144,16	0,01%	61.973,31	3,97%	15.858,25	4,95%
Produtos do setor de Serviços	34.235.683,86	91,35%	18.834.493,21	75,19%	130.319.936,79	99,52%
Comércio	2.335.895,60	6,82%	610.547,15	3,24%	863.196,35	0,66%
Reparação de veículos automotores e motocicletas	-		119,71	0,00%	1.007,02	0,00%
Transporte terrestre de carga	29.400,19	0,09%	156.085,42	0,83%	33.151,49	0,03%
Transporte terrestre de passageiro	-		74,69	0,00%	10.420,11	0,01%
Transporte aquaviário	27,47	0,00%	133,90	0,00%	19,26	0,00%

Quadro 13 - Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m³) Inter setorial: Oferta e demanda de produtos domésticos - 2013. Conclusão.

Transporte aéreo	0,30	0,00%		948,35	0,01%		325.913,83	0,25%	
Armazenamento, correio e serviços auxiliares aos transportes	703,24	0,00%		3.547,64	0,02%		15.378,16	0,01%	
Serviços de alojamento em hotéis e similares	-			58,07	0,00%		47.098,31	0,04%	
Serviços de alimentação	-			22,53	0,00%		383.148,64	0,29%	
Telecomunicações, TV por assinatura e outros serv. relacionados	-			1.365,00	0,01%		1.118.253,90	0,86%	
Outros serviços de informação	-			328,47	0,00%		554.960,98	0,43%	
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	91.954,11	0,27%		130.346,04	0,69%		1.112.300,01	0,85%	
Aluguel imputado	-			-	0,00%		-		
Aluguel efetivo e serviços imobiliários	0,03	0,00%		10.645,93	0,06%		420.158,15	0,32%	
Serviços profissionais, científicos, técnicos, administrativos e complementares	1.177,05	0,00%		459.595,43	2,44%		2.843.568,31	2,18%	
Serviços coletivos da administração pública, de previdência e assistência social, educação e saúde pública	-			-	0,00%		-		
Educação e saúde privada	-			158,07	0,00%		62.982,27	0,05%	
Serviços de artes, cultura, esporte, recreação e pessoais e organizações patronais, sindicais e outros serviços	448,29	0,00%		1.372,57	0,01%		24.157,57	0,02%	
Serviços domésticos	-			-	0,00%		-		
Famílias	31.776.077,57	92,82%		17.459.144,24	92,70%		122.504.222,43	94,00%	

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

APÊNDICE C - CONSUMO INTERMEDIÁRIO DE RECURSOS HÍDRICOS (M³) INTER SETORIAL: TODOS OS USOS DE BENS E SERVIÇOS, INCLUINDO BENS E SERVIÇOS IMPORTADOS, CEARÁ - 2013.

Quadro 14 - Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m³) Inter setorial: todos os usos de bens e serviços, incluindo bens e serviços importados, Ceará - 2013. Continua.

Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m³)										453.523.508,00
Ceará - Total	Agropecuária	Produto/Setor (%)	Setor/CE (%)	Indústria	Produto/Setor (%)	Setor/CE (%)	Serviços	Produto/Setor (%)	Setor/CE (%)	
Sectores	41.534.100,89		9,16%	372.385.586,38		82,11%	39.603.820,74			8,73%
Produtos da Agropecuária	19.122.127,29	46,04%		351.371.172,08	94,40%		15.083.514,57	38,09%		
Milho em grão	5.875.410,73	14,15%		30.270.713,27	8,60%		136.522,86	0,91%		
outros cereais	33.076,12	0,08%		205.860.108,07	58,60%		400.238,05	2,65%		
Algodão herbáceo/outras fibras lavouras temporárias	0,01	0,00%		18.523.178,12	5,30%		490,69	0,00%		
Feijão e fava em grão	11.263,30	0,03%		5,04	0,00%		11.818.210,90	78,35%		
Outros produtos das lavouras temporárias e serviços relacionados	55.177,18	0,13%		2.587.854,89	0,70%		107.889,82	0,72%		
Banana	14,22	0,00%		1.769.829,48	0,50%		194.410,51	1,29%		
Coco-da-baia	46,3	0,00%		6.009.202,57	1,70%		659.761,82	4,37%		
Outros produtos lavoura permanente	0,72	0,00%		4.185.156,92	1,20%		36.812,67	0,24%		
Bovinos vivos	381,77	0,00%		7.247.886,20	2,10%		23,61	0,00%		
Leite de vaca e de outros animais	45.430,17	0,11%		4.488.431,88	1,30%		234,37	0,00%		
Aves	66.136,57	0,16%		65.457.141,53	18,60%		-			
Ovos de galinha e de outras aves	698.295,15	1,68%		935.540,47	0,30%		1.000.969,69	6,64%		
Peixe	11.704.879,14	28,18%		2.123.089,13	0,60%		635.092,04	4,21%		
Outros animais vivos e produtos animais	332.966,80	0,80%		1.872.319,22	0,50%		92.800,69	0,62%		
Produtos da exploração florestal e serviços de apoio	299.049,10	0,72%		40.715,30	0,00%		56,85	0,00%		
Produtos do setor da Indústria	22.310.850,93	53,72%		20.378.987,05	5,47%		8.228.777,17	20,78%		
Produtos da indústria extrativa	4.415,38	0,02%		1.521.596,77	7,47%		108,75	0,00%		
Produtos alimentícios	14.185.535,29	63,58%		588.702,28	2,89%		317.700,79	3,86%		

Quadro 14 - Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m³) Inter setorial: todos os usos de bens e serviços, incluindo bens e serviços importados, Ceará – 2013.

Bebidas	0	0,00%	618.256,42	3,03%	3.045.566,34	37,01%
Produtos têxteis	278,77	0,00%	9.385.286,16	46,05%	513,13	0,01%
Artigos do vestuário e acessórios	0,01	0,00%	345.217,18	1,69%	46.714,26	0,57%
Calçados e artefatos de couro	-		2.843.687,27	13,95%	12,44	0,00%
Produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel	39.170,14	0,18%	332.126,67	1,63%	47.054,92	0,57%
Serviços de impressão e reprodução	0,44	0,00%	7.873,04	0,04%	51.914,43	0,63%
Produtos derivados do petróleo e coque	174.025,98	0,78%	91.862,23	0,45%	668.893,83	8,13%
Etanol e outros biocombustíveis	58,29	0,00%	13.105,93	0,06%	5.893,32	0,07%
Produtos químicos	6.948.382,92	31,14%	598.406,83	2,94%	174.102,44	2,12%
Produtos farmacêuticos	598.380,93	2,68%	4.616,64	0,02%	3.193.934,25	38,81%
Artigos de borracha e plástico	79.615,54	0,36%	248.698,53	1,22%	19.954,10	0,24%
Produtos de minerais não metálicos	41.721,62	0,19%	1.120.222,74	5,50%	9.935,03	0,12%
Produtos da metalurgia	16.336,67	0,07%	684.043,74	3,36%	252,38	0,00%
Produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	33.831,32	0,15%	311.168,92	1,53%	9.406,01	0,11%
Equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	-		119.710,62	0,59%	21.171,79	0,26%
Máquinas e equipamentos	2.579,52	0,01%	322.516,22	1,58%	31.746,33	0,39%
Veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	160,45	0,00%	94.702,53	0,46%	62.908,04	0,76%
Produtos do fumo	-		380,74	0,00%	-	
Móveis e produtos diversos	2,94	0,00%	11.138,37	0,05%	160.177,70	1,95%
Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,21	0,00%	5.956,21	0,03%	3.605,08	0,04%
Eleticidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	186.208,98	0,83%	946.354,10	4,64%	291.842,00	3,55%
Construção	145,52	0,00%	163.356,92	0,80%	65.369,80	0,79%
Produtos do setor de Serviços	101.122,67	0,24%	635.427,24	0,17%	16.291.529,01	41,14%
Comércio	-		47.988,52	7,60%	76.919,87	0,47%
Reparação de veículos automotores e motocicletas	-		218,88	0,00%	7.982,86	0,05%

Quadro 14 - Consumo Intermediário de Recursos Hídricos (m³) Inter setorial: todos os usos de bens e serviços, incluindo bens e serviços importados, Ceará – 2013. Conclusão.

Transporte terrestre de carga	6.868,46	6,79%	131.716,06	20,70%	71.347,88	0,44%
Transporte terrestre de passageiro	-		128,43	0,00%	45.370,73	0,28%
Transporte aquaviário	-		481,84	0,10%	551,32	0,00%
Transporte aéreo	-		2.403,14	0,40%	707.642,44	4,34%
Armazenamento, correio e serviços auxiliares aos transportes	731,61	0,72%	5.413,72	0,90%	56.478,62	0,35%
Serviços de alojamento em hotéis e similares	-		912,6	0,10%	210.709,86	1,29%
Serviços de alimentação	-		22,89	0,00%	1.359.265,09	8,34%
Telecomunicações, TV por assinatura e outros serv. relacionados	-		3.825,46	0,60%	2.738.935,50	16,81%
Outros serviços de informação	-		890,64	0,10%	2.015.668,48	12,37%
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	91.784,08	90,77%	118.143,36	18,60%	2.056.398,77	12,62%
Aluguel imputado	-		-		-	
Aluguel efetivo e serviços imobiliários	0,03		20.995,65	3,30%	2.118.074,18	13,00%
Serviços profissionais, científicos, técnicos, administrativos e complementares	1.177,15	1,16%	293.483,58	46,20%	3.962.157,64	24,32%
Serviços coletivos da administração pública, de previdência e assistência social, educação e saúde pública	-		-		-	
Educação e saúde privada	-		449,9	0,10%	593.182,75	3,64%
Serviços de artes, cultura, esporte, recreação e pessoais e organizações patronais, sindicais e outros serviços	561,35	0,56%	8.352,57	1,30%	270.843,03	1,66%
Serviços domésticos	-		-		-	

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

APÊNDICE D - CONSUMO DIRETO DE ÁGUA (CDA) E MULTIPLICADORES GERAIS DE PRODUÇÃO, RENDA E EMPREGO EM TERMOS DE FLUXOS DE ÁGUA.

Quadro 15 - Consumo Direto de Água (CDA) e multiplicadores gerais de produção, renda e emprego em termos de fluxos de água.

Setores	CDA	CDA	Multiplicadores gerais		
	m ³	%	Produção (R\$ / m ³ Água)	Renda (R\$ / m ³ Água)	Emprego (Emprego / Mil m ³ Água)
0101 Agropecuária	826.740.890,52	62,08	17,09	3,01	0,80
0201 Indústrias extrativas	79.213.051,83	5,95	205,85	50,15	3,25
0301 Fabricação de produtos alimentícios	74.487.175,30	5,59	1.023,47	144,45	9,87
0302 Fabricação de bebidas	52.324.449,91	3,93	246,87	38,51	2,58
0303 Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	46.805.013,60	3,51	260,69	75,19	7,53
0304 Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	43.088.462,62	3,24	493,46	93,77	7,65
0305 Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	41.510.002,99	3,12	1.449,10	92,17	3,05
0306 Fabricação de produtos químicos	37.258.591,23	2,80	3.782,01	459,35	22,20
0307 Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	25.264.470,85	1,90	9.482,55	2.065,37	150,67
0308 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	24.229.508,22	1,82	6.608,94	1.457,36	135,52
0309 Fabricação de produtos de minerais não metálicos	18.317.716,18	1,38	1.075,95	165,70	17,34
0310 Metalurgia	12.019.037,17	0,90	1.324,75	108,52	6,52
0311 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	11.406.933,01	0,86	2.542,70	672,48	60,21
0312 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	10.065.561,14	0,76	11.723,20	2.091,06	116,39
0313 Fabricação de máquinas e equipamentos	7.914.520,81	0,59	12.435,03	3.191,50	277,62
0314 Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	5.924.508,80	0,44	20.986,41	4.893,68	315,80
0315 Outras atividades industriais	3.895.336,65	0,29	2.986,32	632,33	56,68
0316 Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	2.189.654,46	0,16	3.322,26	547,44	40,15
0401 Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	1.900.322,20	0,14	2.130,97	177,01	6,79
0501 Construção	1.650.062,20	0,12	2.563,11	539,36	54,34

0601 Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	1.552.960,94	0,12	1.770,34	495,53	61,39
0701 Transporte, armazenagem e correio	1.302.883,71	0,10	5.564,41	1.501,51	113,40
0801 Serviços de alojamento	1.134.644,28	0,09	341,37	89,53	28,49
0802 Serviços de alimentação	429.059,22	0,03	256,79	45,73	8,44
0901 Informação e comunicação	361.881,31	0,03	141,30	27,62	1,16
1001 Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	298.094,79	0,02	251,75	111,59	1,30
1101 Atividades imobiliárias	135.436,10	0,01	237,40	3,77	0,26
1201 Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	121.583,69	0,01	212,00	83,94	5,48
1301 Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	77.085,86	0,01	381,30	253,06	4,76
1401 Educação e saúde privadas	26.096,29	0,00	75,04	30,73	2,17
1501 Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	25.335,24	0,00	110,67	34,54	4,48
1601 Serviços domésticos	16.571,77	0,00	140,51	125,71	25,27

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

APÊNDICE E - CONSUMO INTERMEDIÁRIO DE ÁGUA, ÍNDICES DE RASMUSSEN E HIRSCHMAN PARA O TRÁS E PARA A FRENTE (EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS) DOS FLUXOS DE ÁGUA, CEARÁ.

Quadro 16 - Consumo intermediário de água, Índices de Rasmussen e Hirschman para o Trás e para a Frente (Efeitos Diretos, indiretos e induzidos) dos Fluxos de Água, Ceará.

Setores Econômicos	Consumo Intermediário de Água	Consumo Intermediário de Água	Índice de Encadeamento Para Trás	Índice de Encadeamento Para Frente
	m ³	%		
0101 Agropecuária	37.479.301,26	19,37%	0,7439	1,2780
0201 Indústrias extrativas	415.932,37	0,21%	0,8097	1,0089
0301 Fabricação de produtos alimentícios	5.604.857,08	2,90%	1,2467	0,7335
0302 Fabricação de bebidas	823.196,15	0,43%	0,7752	0,7193
0303 Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	10.081.572,91	5,21%	0,8865	0,7124
0304 Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	351.478,02	0,18%	0,8320	0,7101
0305 Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	583.277,38	0,30%	1,1251	0,7078
0306 Fabricação de produtos químicos	175.482,03	0,09%	1,0334	0,7155
0307 Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	65.696,58	0,03%	1,0740	0,7080
0308 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	156.222,22	0,08%	1,2416	0,7085
0309 Fabricação de produtos de minerais não metálicos	371.242,56	0,19%	0,8610	0,7214
0310 Metalurgia	143.490,31	0,07%	0,7848	0,7167
0311 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	405.006,51	0,21%	1,0044	0,7083
0312 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	347.948,91	0,18%	0,8557	0,7078
0313 Fabricação de máquinas e equipamentos	118.331,16	0,06%	1,0723	0,7086
0314 Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	149.601,05	0,08%	1,5180	0,7081
0315 Outras atividades industriais	353.972,45	0,18%	1,1063	0,7076
0316 Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	100.862,53	0,05%	1,2934	0,7078

0401 Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	903.438,09	0,47%	0,9091	0,8448
0501 Construção	3.896.211,37	2,01%	1,2124	0,7150
0601 Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	9.703.543,35	5,02%	1,3206	0,9966
0701 Transporte, armazenagem e correio	3.003.572,11	1,55%	1,2750	0,7616
0801 Serviços de alojamento	302.227,59	0,16%	0,8484	0,7082
0802 Serviços de alimentação	2.387.807,14	1,23%	0,7912	0,7479
0901 Informação e comunicação	4.486.112,22	2,32%	0,8058	0,7494
1001 Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	7.646.770,00	3,95%	0,9411	0,7820
1101 Atividades imobiliárias	579.916,68	0,30%	0,7198	0,8147
1201 Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	12.919.299,11	6,68%	0,9163	0,9354
1301 Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	60.477.024,31	31,26%	1,2807	0,7082
1401 Educação e saúde privadas	14.905.942,77	7,70%	0,8595	0,7790
1501 Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	6.564.159,57	3,39%	0,8058	0,7331
1601 Serviços domésticos	7.968.170,44	4,12%	1,3009	0,7111

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

APÊNDICE F - ÍNDICE DE ENCADEAMENTO DE RASMUSSEN E HIRSCHMAN (EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS) DOS FLUXOS HÍDRICOS PARA TRÁS, CEARÁ.

Quadro 17 - Índice de Encadeamento de Rasmussen e Hirschman (Efeitos diretos, indiretos e induzidos) dos fluxos hídricos Para Trás, Ceará.

Setores	Índice de Encadeamento Para Trás			
	Efeito Direto	Efeito Indireto	Efeito Induzido	Efeito Total
0314 Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,0987	1,0069	1,0403	2,1459
0601 Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	0,0721	1,0014	0,7934	1,8669
1601 Serviços domésticos		1,0000	0,8390	1,8390
0316 Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,0553	1,0036	0,7695	1,8285
1301 Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,0049	1,0002	0,8054	1,8104
0701 Transporte, armazenagem e correio	0,0870	1,0025	0,7129	1,8024
0301 Fabricação de produtos alimentícios	0,6064	1,0098	0,1460	1,7623
0308 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,0202	1,0013	0,7336	1,7551
0501 Construção	0,0452	1,0017	0,6670	1,7139
0305 Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	0,4996	1,0151	0,0758	1,5905
0315 Outras atividades industriais	0,0103	1,0006	0,5529	1,5638
0307 Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0,0358	1,0016	0,4809	1,5182
0313 Fabricação de máquinas e equipamentos	0,0152	1,0010	0,4997	1,5158
0306 Fabricação de produtos químicos	0,0538	1,0031	0,4039	1,4608
0311 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,0066	1,0003	0,4129	1,4198
1001 Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0,0375	1,0013	0,2915	1,3303
1201 Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	0,0111	1,0004	0,2837	1,2953
0401 Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	0,1667	1,0254	0,0930	1,2851
0303 Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,0121	1,0005	0,2405	1,2531
0309 Fabricação de produtos de minerais não metálicos	0,0353	1,0018	0,1800	1,2171
1401 Educação e saúde privadas	0,0056	1,0003	0,2092	1,2151
0312 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,0200	1,0010	0,1886	1,2097
0801 Serviços de alojamento	0,0303	1,0012	0,1678	1,1993
0304 Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	0,0148	1,0007	0,1607	1,1762
0201 Indústrias extrativas	0,0308	1,0024	0,1114	1,1446

0901 Informação e comunicação	0,0705	1,0034	0,0653	1,1391
1501 Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,0167	1,0010	0,1214	1,1391
0802 Serviços de alimentação	0,0376	1,0026	0,0783	1,1185
0310 Metalurgia	0,0405	1,0042	0,0647	1,1095
0302 Fabricação de bebidas	0,0353	1,0022	0,0584	1,0959
Famílias			1,0598	1,0598
0101 Agropecuária	0,0069	1,0013	0,0435	1,0516
1101 Atividades imobiliárias	0,0117	1,0004	0,0055	1,0175

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

APÊNDICE G - ÍNDICE DE ENCADEAMENTO DE RASMUSSEN E HIRSCHMAN (EFEITOS DIRETOS, INDIRETOS E INDUZIDOS) DOS FLUXOS HÍDRICOS PARA FRENTE, CEARÁ.

Quadro 18 - Índice de encadeamento de rasmussen e hirschman (efeitos diretos, indiretos e induzidos) dos fluxos hídricos para frente, Ceará.

Setores	Índice de Encadeamento Para Frente			
	Efeito Direto	Efeito Indireto	Efeito Induzido	Efeito Total
Famílias			11,7681	11,7681
0101 Agropecuária	0,6672	1,0082	0,1311	1,8066
0201 Indústrias extrativas	0,4255	1,0005	0,0002	1,4262
0601 Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	0,3227	1,0055	0,0806	1,4088
1201 Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	0,2855	1,0283	0,0086	1,3223
0401 Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	0,1554	1,0236	0,0152	1,1942
1101 Atividades imobiliárias	0,0406	1,0082	0,1029	1,1517
1001 Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	0,0890	1,0069	0,0096	1,1055
1401 Educação e saúde privadas	0,0011	1,0000	0,1001	1,1012
0701 Transporte, armazenagem e correio	0,0583	1,0121	0,0062	1,0766
0901 Informação e comunicação	0,0462	1,0032	0,0099	1,0594
0802 Serviços de alimentação	0,0074	1,0000	0,0499	1,0573
0301 Fabricação de produtos alimentícios	0,0106	1,0012	0,0252	1,0370
1501 Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	0,0014	1,0001	0,0349	1,0363
0309 Fabricação de produtos de minerais não metálicos	0,0195	1,0003	0,0000	1,0198
0302 Fabricação de bebidas	0,0110	1,0001	0,0056	1,0168
0310 Metalurgia	0,0131	1,0001	0,0000	1,0132
0306 Fabricação de produtos químicos	0,0111	1,0003	0,0000	1,0115
0501 Construção	0,0105	1,0002	0,0000	1,0107
0303 Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	0,0053	1,0000	0,0019	1,0071
1601 Serviços domésticos		1,0000	0,0052	1,0052
0304 Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	0,0037	1,0000	0,0000	1,0038
0313 Fabricação de máquinas e equipamentos	0,0016	1,0000	0,0000	1,0016
0308 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	0,0015	1,0000	0,0000	1,0015
0311 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	0,0013	1,0000	0,0000	1,0013

0801 Serviços de alojamento	0,0009	1,0000	0,0002	1,0012
1301 Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	0,0010	1,0001	0,0001	1,0012
0314 Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	0,0010	1,0000	0,0000	1,0010
0307 Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	0,0009	1,0000	0,0000	1,0009
0316 Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	0,0005	1,0000	0,0001	1,0006
0305 Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	0,0000	1,0000	0,0005	1,0006
0312 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	0,0005	1,0000	0,0000	1,0005
0315 Outras atividades industriais	0,0000	1,0000	0,0003	1,0003

Fonte: Elaboração dos autores (2023).

**APÊNDICE H - ELASTICIDADE DA DEMANDA (ϵ) DOS FLUXOS HÍDRICOS,
CEARÁ.**

Quadro 18 - Elasticidade da demanda (ϵ) dos Fluxos Hídricos, Ceará.

	$\Gamma_{D_j}^*$	$\Gamma_{D_i}^*$	Γ_T
0101 Agropecuária	0,9996	1,0071	1,0032
0201 Indústrias extrativas	1,0005	1,0033	1,0032
0301 Fabricação de produtos alimentícios	1,0067	0,9994	1,0032
0302 Fabricação de bebidas	1,0000	0,9992	1,0032
0303 Fabricação de produtos têxteis, artigos do vestuário e acessórios, calçados e artefatos de couro	1,0016	0,9991	1,0032
0304 Fabricação de produtos de madeira, exceto móveis, de celulose, papel e produtos de papel e serviços de impressão e reprodução de gravações	1,0008	0,9991	1,0032
0305 Refino de petróleo e coque e de álcool e outros biocombustíveis	1,0050	0,9991	1,0032
0306 Fabricação de produtos químicos	1,0037	0,9992	1,0032
0307 Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	1,0043	0,9991	1,0032
0308 Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	1,0066	0,9991	1,0032
0309 Fabricação de produtos de minerais não metálicos	1,0012	0,9993	1,0032
0310 Metalurgia	1,0002	0,9992	1,0032
0311 Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	1,0033	0,9991	1,0032
0312 Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos, máquinas, aparelhos e materiais elétricos	1,0012	0,9991	1,0032
0313 Fabricação de máquinas e equipamentos	1,0042	0,9991	1,0032
0314 Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias e outros equipamentos de transporte	1,0105	0,9991	1,0032
0315 Outras atividades industriais	1,0047	0,9991	1,0032
0316 Manutenção, reparação e instalação de máq. e equipamentos	1,0074	0,9991	1,0032
0401 Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e descontaminação	1,0019	1,0010	1,0032
0501 Construção	1,0062	0,9992	1,0032
0601 Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	1,0077	1,0032	1,0032
0701 Transporte, armazenagem e correio	1,0071	0,9998	1,0032
0801 Serviços de alojamento	1,0011	0,9991	1,0032
0802 Serviços de alimentação	1,0003	0,9996	1,0032
0901 Informação e comunicação	1,0005	0,9997	1,0032
1001 Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	1,0024	1,0001	1,0032
1101 Atividades imobiliárias	0,9992	1,0006	1,0032
1201 Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	1,0020	1,0023	1,0032
1301 Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	1,0072	0,9991	1,0032
1401 Educação e saúde privadas	1,0012	1,0001	1,0032

1501 Artes, cultura, esporte e recreação e outras atividades de serviços	1,0005	0,9994	1,0032
1601 Serviços domésticos	1,0075	0,9991	1,0032
Famílias	0,9997	1,1067	1,0032

Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

* Onde i: linhas (representa a oferta de bens e serviços) e j: colunas (representa a demanda por bens e serviços).

**APÊNDICE I - ALGORITMO DE REDES COMPLEXAS - MODELO DE ANÁLISE
MULTIRREGIONAL DE ENTRADAS-SAÍDAS COM A ABORDAGEM DE REDE
COMPLEXA**

```
#!/usr/bin/perl

if($ARGV[0] eq ""){
    print stderr "use: STDIN | ".$0." [Trad_CNAE4.csv] [Trad_NCM8.csv] [Mtx_prod.csv]
[coef_teq.csv] [flag]\n";
    exit(1);
};

#-----

open FILE, "< ".$ARGV[0];
my @lines=<FILE>;
close FILE;
my $Trad_CNAE4_SCNa67;
for($i=1;$i<@lines;$i++){
    chomp($lines[$i]);
    my @fields=split(/;/,$lines[$i]);
    $Trad_CNAE4_SCNa67->{$fields[0]}=$fields[1];
};

open FILE, "< ".$ARGV[1];
my @lines=<FILE>;
close FILE;
my $Trad_NCM8_SCNp127;
for($i=1;$i<@lines;$i++){
    chomp($lines[$i]);
    my @fields=split(/;/,$lines[$i]);
    $Trad_NCM8_SCNp127->{$fields[0]}=$fields[1];
};

open FILE, "< ".$ARGV[2];
my @lines=<FILE>;
close FILE;
my $Mtx_prod;
my @col;
chomp($lines[0]);
my @fields=split(/;/,$lines[0]);
for($j=1;$j<@fields;$j++){
    $col[$j]=$fields[$j];
};
for($i=1;$i<@lines;$i++){
    chomp($lines[$i]);
    my @fields=split(/;/,$lines[$i]);
    for($j=1;$j<@fields;$j++){
```

```

    $Mtx_prod->{$col[$j]}->{$fields[0]}=$fields[$j];
#   print $col[$j]." ".$fields[0]." ".$fields[$j]."\n";
    };
};

open FILE, "< ".$ARGV[3];
my @lines=<FILE>;
close FILE;
my $CoefTeq;
for($i=1;$i<@lines;$i++){
    chomp($lines[$i]);
    my @fields=split(/;/,$lines[$i]);
#   print $fields[1]." ".$fields[3]."\n";
    $CoefTeq->{$fields[1]}=$fields[3];
};

#exit(1);

# Database -----

print stderr "Reading from input... \n";

my $data;
my $data_in;
my $data_out;
my $data_diff;
my %col;

my $j=-1; # skip first line
$line=<STDIN>;
chomp($line);

while( $line ne "STOP" ){
    if(($j%1000000)==0){
        print stderr "Reading line: ".$j."\n";
    };

    my @fields=split(/;/,$line);

    my $Oatv=$Trad_CNAE4_SCNa67->{$fields[1]};
    my $prd=$Trad_NCM8_SCNp127->{$fields[2]};
    my $Datv=$Trad_CNAE4_SCNa67->{$fields[4]};
    my $val=$fields[5];
    if($Oatv==0){ $Oatv="0000"; };
    if($Datv==0){ $Datv="0000"; };
    if($prd==0){ $prd="00000"; };

#   print $Oatv." ".$prd." ".$Datv."\n";

```

```

my @digits=split(//,$fields[0]);
my $Ouf=$digits[0].$digits[1];
my @digits=split(//,$fields[3]);
my $Duf=$digits[0].$digits[1];

if(($Ouf==23)&&($Duf==23)){
  if(($Oatv!=0)&&($Datv!=0)&&($prd!=0)&&($val!=0)){
    my $agua;
    my $is_prd = $Mtx_prod->{$Oatv}->{$prd};

    if($is_prd==1){
      $agua=$val/$CoefTeq->{$Oatv};

#
if(($fields[0]==2313955)&&($Oatv==4680)&&($fields[3]==2304400)&&($Datv==192)){
#   print $fields[0]."-".$Oatv." ".$fields[3]."-".$Datv." ".$agua." ".$prd." ".$val."
#   ($CoefTeq->{$Oatv})."\n";
#   };

    }else{
      my @digits=split(//,$prd);
      my $atv=$digits[0].$digits[1].$digits[2].$digits[3];
      $agua=$val/$CoefTeq->{$atv};

#
if(($fields[0]==2313955)&&($Oatv==4680)&&($fields[3]==2304400)&&($Datv==192)){
#   print "->".$fields[0]."-".$Oatv." ".$fields[3]."-".$Datv." ".$agua." ".$prd." ".$val."
#   ($CoefTeq->{$atv})."\n";
#   };

    };

    $data->{$fields[0]."-".$Oatv}->{$fields[3]."-".$Datv}+=$agua;

    my $key1=$fields[0]."-".$Oatv;
    my $key2=$fields[3]."-".$Datv;

    if($key1 ne $key2){
      $data_out->{$fields[0]."-".$Oatv}+=$agua;
      $data_in->{$fields[3]."-".$Datv}+=$agua;
    };

  };
};

$j++;
$line=<STDIN>;
chomp($line);
};
close FILE;

```

```

#-----

my $atvts;

open FILE, "> net_".$ARGV[4].".csv";
foreach my $key1 ( sort keys %{$data} ){
  foreach my $key2 ( sort keys %{$data->{$key1}} ){
    if($key1 ne $key2){
      print FILE $key1.";".$key2.";".$data->{$key1}->{$key2}."\n";
      $atvts->{$key1}=1;
      $atvts->{$key2}=1;
    }
  }
};
close FILE;

open FILE, "> Din_".$ARGV[4].".csv";
foreach my $key1 ( sort keys %{$data_in} ){
  print FILE $key1.";".$data_in->{$key1}."\n";
};
close FILE;

open FILE, "> Dout_".$ARGV[4].".csv";
foreach my $key1 ( sort keys %{$data_out} ){
  print FILE $key1.";".$data_out->{$key1}."\n";
};
close FILE;

open FILE, "> Ddiff_".$ARGV[4].".csv";
foreach my $key1 ( sort keys %{$atvts} ){
  my $diff=$data_in->{$key1}-$data_out->{$key1};
  print FILE $key1.";".$diff."\n";
};
close FILE;

```

Fonte: Elaboração do autor.

**APÊNDICE J – RELAÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS CONSIDERADAS
NO ALGORITMO DE REDES COMPLEXAS - MODELO DE ANÁLISE
MULTIRREGIONAL DE ENTRADAS-SAÍDAS COM A ABORDAGEM DE REDE
COMPLEXA, CEARÁ, 2013.**

Agricultura, inclusive o apoio a agricultura e a pós-colheita
Pecuária, inclusive o apoio a pecuária
Produção florestal, pesca e aquicultura
Extração de carvão mineral e de minerais não metálicos
Extração de petróleo e gás, inclusive as atividades de apoio
Extração de minério de ferro, inclusive beneficiamentos e a aglomeração
Extração de minerais metálicos não ferrosos, inclusive beneficiamentos
Abate e produtos de carne, inclusive os produtos do laticínio e da pesca
Fabricação e refino de açúcar
Outros produtos alimentares
Fabricação de bebidas
Fabricação de produtos do fumo
Fabricação de produtos têxteis
Confecção de artefatos do vestuário e acessórios
Fabricação de calçados e de artefatos de couro
Fabricação de produtos da madeira
Fabricação de celulose, papel e produtos de papel
Impressão e reprodução de gravações
Refino de petróleo e coquerias
Fabricação de biocombustíveis
Fabricação de químicos orgânicos e inorgânicos, resinas e elastímeros
Fabricação de defensivos, desinfetantes, tintas e químicos diversos
Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico
Fabricação de produtos de minerais não metálicos
Produção de ferro/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura
Metalurgia de metais não ferrosos e a fundição de metais
Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos
Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos
Fabricação de máquinas e equipamentos elétricos
Fabricação de máquinas e equipamentos mecânicos
Fabricação de automóveis, caminhões e ônibus, exceto peças
Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores
Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores
Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos
Energia elétrica, gás natural e outras utilidades
Água, esgoto e gestão de resíduos
Construção
Comércio por atacado e varejo

Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas
Comércio por atacado e a varejo, exceto veículos automotores
Transporte terrestre
Transporte aquaviário
Transporte aéreo
Armazenamento, atividades auxiliares dos transportes e correio
Alojamento
Alimentação
Edição e edição integrada e impressão
Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem
Telecomunicações
Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar
Atividades imobiliárias
Atividades jurídicas, contábeis, consultoria e sedes de empresas
Serviços de arquitetura, engenharia, testes/análises técnicas e P & D
Outras atividades profissionais, científicas e técnicas
Aluguéis não imobiliários e gestão de ativos de propriedade intelectual
Outras atividades administrativas e serviços complementares
Atividades de vigilância, segurança e investigação
Administração pública, defesa e seguridade social
Educação pública
Educação privada
Saúde pública
Saúde privada
Atividades artísticas, criativas e de espetáculos
Organizações associativas e outros serviços pessoais
Serviços domésticos

Fonte: Elaborado pelos do autores (2023).

ANEXO A - PARTICIPAÇÃO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS NO VALOR ADICIONADO BRUTO, CEARÁ, 2010 – 2020.

Atividades econômicas	Participação no valor adicionado bruto (%)											
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Total das Atividades	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Agricultura	5,1	6,5	4,7	5,1	5,2	4,5	4,7	5,8	5,2	5,1	6,5	6,5
Indústria	21,9	21,3	21,2	20,4	19,2	19,6	19,2	17,1	18,1	17,1	17,2	17,2
Indústrias extrativas	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,3	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2
Indústrias de Transformação	11,3	10,4	9,8	10,4	9,2	8,5	8,2	8,5	9,3	8,7	8,1	8,1
Eletricidade e gás, água, esgoto, atividades de gestão de resíduos e desco	3,3	3,1	2,9	2,1	2,3	2,6	3,8	3,8	3,7	3,9	4,2	4,2
Construção	6,8	7,2	7,9	7,3	7,1	8,1	7,0	4,5	4,8	4,2	4,7	4,7
Serviços	73,0	72,2	74,1	74,5	75,6	75,9	76,1	77,2	76,7	77,8	76,3	76,3
Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	16,3	15,8	16,2	15,7	16,3	14,9	14,7	15,9	14,5	14,5	14,2	14,2
Transporte, armazenagem e correio	3,3	3,2	3,4	3,5	3,0	2,9	3,0	3,2	3,3	3,2	2,7	2,7
Alojamento e alimentação	2,9	3,0	3,1	3,4	3,5	3,0	3,0	3,2	3,3	3,7	2,8	2,8
Informação e comunicação	2,3	2,2	2,5	2,3	2,4	2,1	2,0	2,1	2,2	2,5	2,4	2,4
Atividades financeiras, de seguros e serviços relacionados	3,7	3,7	4,0	3,7	3,7	4,4	4,9	4,4	3,9	4,2	4,2	4,2
Atividades Imobiliárias	8,2	8,4	8,8	9,5	9,7	10,6	10,6	10,4	10,5	10,1	11,0	11,0
Atividades profissionais, científicas e técnicas, administrativas e serviços complementares	6,8	7,3	7,1	7,2	7,6	7,6	7,6	7,4	8,0	8,1	7,4	7,4
Administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social	23,8	22,9	22,6	22,9	22,7	23,7	23,3	23,7	23,7	24,0	24,8	24,8
Educação e saúde privadas	2,5	2,7	3,1	3,1	3,4	3,5	3,7	3,8	4,0	4,1	4,0	4,0
Outras atividades de serviços	3,3	3,1	3,2	3,3	3,3	3,3	3,3	3,2	3,3	3,3	3,4	2,8

Fonte: IPECE, 2022.