



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL de LONDRINA

---

LUCAS YOSHIO ARIZONO

**MUDANÇA ESTRUTURAL NO CONSUMO  
MUNDIAL DE ÁGUA:  
UMA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL DA  
PEGADA HÍDRICA**

---

Londrina  
2026

LUCAS YOSHIO ARIZONO

**MUDANÇA ESTRUTURAL NO CONSUMO  
MUNDIAL DE ÁGUA:  
UMA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL DA  
PEGADA HÍDRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, da Universidade Estadual de Londrina-UEL como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Umberto Antonio Sesso Filho.

Londrina  
2026

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

ARIZONO, Lucas Yoshio.

Mudança estrutural no consumo mundial de água - uma análise de decomposição estrutural da pegada hídrica /  
Lucas Yooshio Arizono. - Londrina, 2026. 72 f.

Orientador: Umberto Antônio Sesso Filho.

Dissertação (Mestrado em Economia Regional) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Estudos Sociais Aplicados, Programa de Pós-Graduação em Economia Regional, 2026.

Inclui bibliografia.

1. Pegada hídrica - Tese. 2. Decomposição estrutural - Tese. 3. Água virtual - Tese. 4. Matriz insumo-produto - Tese. I. Sesso Filho, Umberto Antônio. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Estudos Sociais Aplicados. Programa de Pós-Graduação em Economia Regional. III. Título.

CDU 33

LUCAS YOSHIO ARIZONO

**MUDANÇA ESTRUTURAL DO CONSUMO  
MUNDIAL DE ÁGUA:  
UMA ANÁLISE DE DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL DA  
PEGADA HÍDRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia, da Universidade Estadual de Londrina-UEL como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientador: Prof. Dr. Umberto Antônio  
Sesso Filho  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Emerson Guzzi Zuan Esteves  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof. Dr. Ricardo Luís Lopes  
Universidade Estadual de Maringá - UEM

Londrina, 12 de fevereiro de 2026.

ARIZONO, Lucas Yoshio. **Mudança estrutural do consumo mundial de água**: uma análise de decomposição estrutural da pegada hídrica. 2026. 72 f. Dissertação de Mestrado em Economia Regional – Centro de Estudos Sociais Aplicados, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2026.

## RESUMO

Este estudo realiza uma decomposição estrutural da pegada hídrica mundial com base em dados da matriz insumo-produto multirregional (EORA), utilizando como referência os anos de 1990, 2002 e 2015, desagregada em 190 países e 26 setores econômicos. A análise distingue os efeitos intensidade, tecnologia, estrutura da demanda final e volume da demanda final sobre a variação da pegada hídrica, separando os resultados entre os tipos de água: azul, verde e cinza. Os resultados indicam um crescimento de 29.531 bilhões de metros cúbicos ( $\text{Bm}^3$ ) pegada hídrica global no período analisado, majoritariamente ligada a pegada verde (77,85%), impulsionado principalmente pelo aumento da atividade econômica ( $14.079 \text{ Bm}^3$ ) e pela maior intensidade no uso da água ( $10.536 \text{ Bm}^3$ ). Em contrapartida, o efeito estrutura da demanda final contribuiu para a redução da pegada hídrica ( $-8.456 \text{ Bm}^3$ ) ao refletir mudanças no padrão de consumo em direção a bens menos intensivos em água. A análise também revela que a maior parte da variação global é explicada por um grupo restrito de países, onde observa-se que 67% da variação da pegada hídrica mundial está atrelada às 40 maiores economias. A principal contribuição do trabalho reside na aplicação abrangente de uma metodologia multirregional para quantificar e explicar as mudanças estruturais no uso global da água, superando a limitação de estudos regionais e setoriais.

**Palavras-chave:** Pegada hídrica; Decomposição estrutural; Água virtual; Matriz insumo-produto.

ARIZONO, Lucas Yoshio. **Structural change in world water consumption: a structural decomposition analysis of the water footprint.** 2026. 72 p. Master's Dissertation Regional Economics – Center for Applied Social Studies, State University of Londrina, Londrina, 2026.

## ABSTRACT

This study conducts a structural decomposition of the global water footprint between 1990 and 2015, based on data from the EORA multiregional input-output (MRIO) database, disaggregated into 190 countries and 26 economic sectors. The analysis distinguishes the effects of intensity, technology, final demand structure, and final demand volume on the variation of the water footprint, separating the results by water types: blue, green, and grey. The findings indicate 29.531 billions cubic meters ( $\text{Bm}^3$ ) increase in the global water footprint over the analyzed period, mostly related to the green water footprint (77,85%), mainly driven by the expansion of economic activity ( $14.079 \text{ Bm}^3$ ) and the rising intensity of water use ( $10.536 \text{ Bm}^3$ ). Conversely, the final demand structure effect contributed to a reduction of  $-8.456 \text{ Bm}^3$  in the water footprint by reflecting changes in consumption patterns toward less water-intensive goods. The analysis also reveals that most of the global variation is explained by a limited group of countries, which 67% of the global water footprint variation is attributed to the top 40 largest economies. The main contribution of this study lies in the comprehensive application of a multi regional methodology to quantify and explain the structural changes in global water use, overcoming the limitations of regional and sectoral studies.

**Key-words:** Water footprint; Structural decomposition; Virtual water; Input output matrix.

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Estrutura do consumo de água mundial.....	29
<b>Gráfico 2</b> - Decomposição estrutural da pegada hídrica mundial entre 1990 e 2015 .....	30
<b>Gráfico 3</b> - Decomposição estrutural da pegada hídrica entre 1990 e 2002 .....	31
<b>Gráfico 4</b> - Decomposição estrutural da pegada hídrica entre 2002 e 2015 .....	32
<b>Gráfico 5</b> - Países com maiores variações percentuais da pegada hídrica .....	43
<b>Gráfico 6</b> - Continuação: Países com maiores variações percentuais da pegada hídrica.....	43
<b>Gráfico 8</b> - Variação percentual da pegada hídrica dos países .....	72

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Decomposição estrutural da pegada hídrica por tipo de água de 1990-2015 (em termos proporcionais) .....	32
<b>Tabela 2</b> - Participação setorial no consumo de água por tipo de água - 1990. ....	33
<b>Tabela 3</b> - Participação setorial no consumo de água por tipo de água - 2002. ....	33
<b>Tabela 4</b> - Participação setorial no consumo de água por tipo de água - 2015. ....	33
<b>Tabela 5</b> - Composição percentual da variação da pegada hídrica verde mundial por setor e efeito (1990–2002).....	34
<b>Tabela 6</b> - Composição percentual da variação da pegada hídrica azul mundial por setor e efeito (1990–2002).....	34
<b>Tabela 7</b> - Composição percentual da variação da pegada hídrica cinza mundial por setor e efeito (1990–2002).....	35
<b>Tabela 8</b> - Composição percentual da variação da pegada hídrica verde mundial por setor e efeito (2002-2015) .....	35
<b>Tabela 9</b> - Composição percentual da variação da pegada hídrica azul mundial por setor e efeito (2002-2015) .....	35
<b>Tabela 10</b> - Composição percentual da variação da pegada hídrica cinza mundial por setor e efeito (2002-2015) .....	36
<b>Tabela 11</b> - Reconfiguração da pegada hídrica dos setores (Bm <sup>3</sup> ) .....	60
<b>Tabela 12</b> - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm <sup>3</sup> ) .....	61

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bm <sup>3</sup>	Bilhões de metros cúbicos
EEIO	Matriz de insumo-produto ambiental
IDA	Index Decomposition Analysis
MIP	Matriz de insumo-produto
MRIO	Modelos de insumo-produto multirregional
SDA	Análise de decomposição estrutural

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Mensuração do consumo de água</b> .....	<b>15</b>
<b>2.2</b>	<b>Insumo-produto</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3</b>	<b>Decomposição estrutural</b> .....	<b>20</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>23</b>
<b>3.1</b>	<b>Base de dados</b> .....	<b>23</b>
<b>3.2</b>	<b>Matriz de insumo produto</b> .....	<b>24</b>
<b>3.3</b>	<b>Cálculo da pegada hídrica</b> .....	<b>25</b>
<b>3.4</b>	<b>Decomposição estrutural</b> .....	<b>26</b>
<b>3.5</b>	<b>Método de deflação</b> .....	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise setorial</b> .....	<b>33</b>
<b>4.2</b>	<b>Principais economias</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3</b>	<b>Discussões</b> .....	<b>44</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>49</b>
	<b>APÊNDICES</b> .....	<b>54</b>
	<b>APÊNDICE A - Mudança na matriz de insumos</b> .....	<b>55</b>
	<b>APÊNDICE B - Setores e países</b> .....	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE C - Reconfiguração da pegada hídrica</b> .....	<b>60</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um elemento de presença abundante na Terra, cuja existência é fundamental para a manutenção da vida e da sociedade humana. Assim a escassez hídrica torna-se um dos maiores desafios a ser enfrentado pela humanidade contemporânea. Este fenômeno decorre do aumento da população, crescimento econômico e mudanças climáticas (Caretta; Mukherji, 2023; Morrison et al., 2013; Sesso Filho et al., 2024a; Somlyódy; Varis, 2006; UN Water, 2020).

Por ser amplamente empregada em atividades agrícolas, industriais e geração de energia, além de seu uso para fins rotineiros e recreativos, a água está intrinsecamente ligada ao bem-estar humano (Hoekstra et al., 2009; OECD, 2010). Portanto, a sua disponibilidade é um fator determinante para segurança alimentar, saúde pública e estabilidade social, colocando o recurso no centro das discussões sobre desenvolvimento sustentável.

O volume de água disponível em termos físico-químico não se altera ao longo do tempo, o recurso encontra-se em constante movimento ao longo do ciclo hidrológico, fenômeno natural que o repõe e redistribui na atmosfera. Por conta disso a água é considerada um recurso renovável, contudo é limitada pela distribuição espacial e temporal, tornando-a um recurso essencialmente escasso em muitas regiões. Desta forma entende-se que não há perda de água no planeta, este apenas transiciona entre seus diferentes estágios e regiões

O que aparenta surgir é o problema Malthusiano de uma população crescente com um volume fixo de água disponível (Rogers, 2006). De forma que o relatório publicado pelas Nações Unidas (UN WWAP, 2003 apud Rogers, 2006) aponta a escassez como uma questão de governança, passível de solução por meio de uma gestão efetiva e eficiente dos recursos hídricos. Com razão, muitas políticas de economia de água, campanhas de conscientização e medidas de regulamentação implementadas em diversos países.

Tais medidas são orientadas para o uso eficiente doméstico e industrial da água (Vanham; Bidoglio, 2012; Dimas et al., 2025). Contudo, o uso doméstico compreende 4% do volume de água consumida, sendo o restante decorrente do processo produtivo, sobretudo de produtos agrícolas que são responsáveis por 92% do consumo de água total (Hoekstra; Mekonnen, 2011; Dimas et al., 2025) de

forma que o maior potencial de economia se encontra em avanços nos processos produtivos sobretudo do setor agrícola (Vanham; Bidoglio, 2012).

Apesar desse reconhecimento e dos esforços já empreendidos, permanece a necessidade de compreender se, de fato, ocorreram mudanças nos padrões de consumo de água capazes de aliviar as pressões sobre os recursos hídricos. A questão central que se coloca não é apenas a existência de políticas e iniciativas, mas sim se estas têm sido suficientes para promover uma utilização mais sustentável e equilibrada da água, reduzindo sua condição de escassez diante da crescente demanda global.

Neste contexto, Hoekstra e Hung (2002) introduzem o conceito de pegada hídrica, como um indicador para mensurar o volume de água incorporado nas atividades produtivas ao longo da cadeia produtiva, permitindo analisar o impacto ambiental das atividades humanas. O conceito se consolidou como uma ferramenta analítica para avaliar os padrões de consumo e produção em escala global, destacando-se pela capacidade de integrar dimensões diretas e indiretas do uso da água.

Nesta abordagem qualifica-se o uso em três categorias distintas com base na origem do recurso: pegada verde, correspondente à água da chuva e umidade solo; pegada azul, relativa à água superficial e subterrânea; e pegada cinza, referente ao volume de água necessário para diluir poluentes e manter a qualidade da água dentro de padrões aceitáveis. Essa distinção permite uma avaliação mais precisa das diferentes pressões exercidas sobre os recursos hídricos.

Com o aumento da relevância do tema, diante de dificuldades eminentes que ganham espaço nos debates em fóruns internacionais, diversos estudos buscaram mensurar a pegada hídrica a níveis setoriais, regionais e nacionais (Hoekstra; Chapagain, 2006; Montoya, 2020; Sesso Filho et al., 2024b) a fim de expressar o impacto que a produção e o consumo têm sobre o uso dos recursos hídricos. O modelo de insumo produto é uma das ferramentas mais utilizadas neste campo de pesquisa por permitir contabilizar os fluxos de água virtual embutidos no comércio internacional de bens e serviços (Ma et al., 2020; Sun et al., 2022). Porém a sua natureza estática não revela os fatores que explicam as variações observadas ao longo do tempo.

Desta forma a análise de decomposição estrutural (SDA) da pegada hídrica é introduzida como uma abordagem complementar que permite separar os efeitos associados a mudanças tecnológicas, alterações na estrutura produtiva,

transformações na demanda final e crescimento populacional. Embora pouco utilizado pelo campo de pesquisa a SDA (Sun et al., 2022) ajuda a compreender como os padrões de consumo evoluem ao longo do tempo como foi trabalhado por Zhang et al., (2012) em Pequim; Cazcarro et al., (2013) na Espanha; Wang et al., (2016) para a China. Desta forma pode-se observar quais são os principais fatores que determinam o uso dos recursos hídricos, porém os estudos sobre o tema possuem um caráter regionalizado (Carrascal Incera et al., 2017).

Um resultado frequentemente destacado em diversos estudos refere-se ao impacto negativo das tecnologias — isto é, a sua capacidade de reduzir o consumo de água (Achraf et al., 2021; Cazcarro et al., 2017; Hoekstra; Hung, 2002; Plank et al., 2018). No entanto, modelos fechados que analisam apenas uma única região apresentam limitações, isso porque um país que importa produtos intensivos em uso de água evita o consumo direto desses recursos, mas o uso efetivo da água é contabilizado no país exportador (Carrascal Incera et al., 2017; Hoekstra; Hung, 2002; Plank et al., 2018). Percebe-se, portanto, a necessidade de aprofundar as pesquisas em análises globais sobre a mudança estrutural da pegada hídrica, a fim de analisar o consumo mundial de água.

O presente trabalho analisa quais são os fatores estruturais que atuaram na variação da pegada hídrica ao longo do período e a composição do consumo segundo a origem dos recursos captados, a partir da decomposição estrutural da pegada hídrica global. Essa abordagem revela-se particularmente relevante ao considerar o papel do comércio internacional como mecanismo de mitigação de restrições hídricas locais, ao permitir que países contornem limitações naturais de disponibilidade de água por meio do intercâmbio de bens intensivos em recursos hídricos (Allan, T. 1993; Hoekstra; Mekonnen, 2012; Rogers, 2006).

Embora a importação de “água virtual” possa, em um primeiro momento, reduzir pressões sobre regiões escassas e dinamizar economias exportadoras, do ponto de vista ambiental esse resultado não é garantido. Em cenários de aumento contínuo da demanda, esse deslocamento de pressões pode gerar novas vulnerabilidades, ampliar riscos de degradação ambiental e comprometer a disponibilidade do recurso no longo prazo. Contudo, cabe ressaltar que o fluxo de água virtual não compõe o escopo de pesquisa do trabalho, embora os resultados obtidos pela metodologia pela SDA possam trazer evidências iniciais para discutir o impacto ambiental do comércio internacional.

Desta forma, uma análise que incorpore o maior número possível de países se faz necessária para que se tenha um entendimento de como os padrões de consumo da população global se relacionam com o problema da escassez hídrica. Para este fim a pegada hídrica é mensurada através da metodologia da matriz de insumo produto ambiental e em seguida é realizada a decomposição estrutural.

Em termos técnicos é fundamental que os dados das matrizes de insumo-produto estejam expressos a preços constantes, o que permite a comparação temporal dos valores de forma coerente. Contudo diversos questionamentos quanto ao método de deflação mais adequado são levantados, com o objetivo de garantir a consistência dos dados e minimizar possíveis distorções nos resultados da análise.

Assim pretende-se apresentar a metodologia de decomposição estrutural, ainda pouco explorada nos trabalhos sobre pegada hídrica, mas capaz de introduzir uma nova dimensão de análise ao considerar a evolução temporal do uso dos recursos. Para a realização da decomposição, serão examinadas as principais questões metodológicas, de modo a fundamentar a escolha do procedimento mais adequado, sistematizar critérios e evidenciar os desafios envolvidos nas análises estruturais multirregionais aplicadas aos recursos hídricos. Ao final, espera-se apresentar um conjunto de resultados que contribua para o entendimento dos desafios relacionados à escassez hídrica mundial.

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, que abordam de forma sistemática o tema proposto. Após a introdução, a segunda seção apresenta uma revisão da literatura, explorando os principais conceitos e a evolução do campo de pesquisa relacionado ao tema. A terceira seção descreve a metodologia adotada e as bases de dados utilizadas para a realização da análise de decomposição estrutural seguido pelos resultados e discussões. Por fim, a quinta seção é dedicada às considerações finais e conclusões do estudo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

A hidrosfera corresponde ao volume total de água existente no planeta Terra, em todos os seus estados físicos e localizações, estimado em aproximadamente 1,386 bilhões de km<sup>3</sup>. Desse montante, cerca de 2,5% corresponde à água doce, potencialmente adequada ao consumo humano direto. Entretanto, mesmo essa fração reduzida encontra-se, em sua maior parte, em áreas de difícil acesso, como geleiras e aquíferos profundos. Assim, estima-se que apenas 0,77% do total de água doce esteja efetivamente disponível em lagos, reservatórios, rios e na atmosfera (Postel et. al., 1996; Shiklomanov, 2000).

Contudo, a água é um recurso dinâmico que permanece em constante movimento, renovando-se por meio do ciclo hidrológico (Armando; Oliveira Valadão, 2016), processo natural que assegura sua presença contínua no ambiente. Shiklomanov e Sokolov (1983) estimaram a disponibilidade de água na Terra e sua distribuição ao longo do ciclo hidrológico. Entre os resultados, destaca-se: a baixa retenção de umidade na atmosfera e alta dinamicidade; concentração das reservas de água doce do planeta principalmente em geleiras e água subterrâneas; presença reduzida dos reservatórios superficiais artificiais; e capacidade limitada de armazenamento dos rios (Rogers, 2006).

Embora as reservas de águas subterrâneas profundas e geleiras possam ser exploradas, muitas delas são consideradas não renováveis, devido ao lento processo de renovação — em torno de 10.000 anos para o pergelissolo e calotas polares, e cerca de 1.500 anos para águas subterrâneas profundas e geleiras (Korzoun, 1974, 1978 apud Shiklomanov, 2000, tradução nossa). Assim, o volume de água efetivamente renovável restringe-se àquele que circula ativamente pelo ciclo hidrológico.

Postel et al. (1996) estimam que, da precipitação terrestre, aproximadamente 26% da evapotranspiração é retida e cerca de 54% do escoamento superficial é apropriado para consumo humano. No entanto, as alterações ambientais causadas pela atividade humana e mudanças climáticas afetam o ciclo e a capacidade de renovação natural deste recurso (Caretta; Mukherji, 2023; OECD, 2010), com isso a oferta de água doce, é restrita à sua disponibilidade em corpos hidrográficos e precipitação, mas as atividades humanas consomem e poluem um grande volume de água, gerando impactos tanto sobre a oferta como a demanda (Hoekstra, et al., 2011).

## 2.1.MENSURAÇÃO DO CONSUMO DE ÁGUA

Considerando que a água não é distribuída de forma uniforme geograficamente, Allan, T. (1993) introduziu o conceito de água virtual como uma medida do volume de água necessária para a produção de um bem. O conceito pode ser abordado de duas formas distintas: a primeira contabiliza o volume de água incorporado em um produto ao longo de todo o processo produtivo; a segunda considera o volume de água que seria utilizado para produzir o bem se este fosse produzido no local em que é demandado (Hoekstra, 2003). A distinção destas abordagens se traduz no sentido de que a primeira forma considera quanto do recurso é utilizado efetivamente, enquanto o segundo traz a noção do potencial de economia obtido a partir do comércio de bens (Hoekstra, 2003).

Allan, T. (1993) utiliza do conceito de água virtual para averiguar como a água é transacionada entre os países de forma implícita por meio da transação de bens, assim países com escassez de recursos hídricos podem participar do mercado internacional de trocas importando bens intensivos em água, permitindo que o recurso disponível seja alocado para usos distintos. Dessa forma, argumenta-se que a existência de um mercado de água virtual é fundamental para que os países possam superar suas restrições hídricas. Portanto, a crise hídrica revela-se como uma questão de gestão dos recursos, cuja dinâmica frequentemente transcende as fronteiras nacionais (Allan, T., 1993; Allan, J. A. 2006; Hoekstra, 2016; Rogers, 2006).

Sendo assim a água virtual pode ser utilizada como um instrumento político para obter segurança hídrica nacional, como uma fonte alternativa para os recursos hídricos, que soluciona problemas geopolíticos (Hoekstra, 2003). Na esfera econômica esse uso ganha respaldo a partir do argumento da teoria do comércio internacional — proposto pelo teorema de Heckscher-Ohlin, de especialização na produção de bens intensivos em recursos abundantes no país (Krugman et al., 2023) — para exportação de bens com vantagem comparativa (Wichelns, 2001). Desta forma, o comércio de água virtual conduz a um aumento na eficiência do uso de água, visto que o custo e externalidades negativas são menores em regiões onde o recurso abunda, enquanto os países que lidam com a escassez o utilizam para fins ou períodos mais eficientes e/ou necessários (Hoekstra; Hung, 2002).

O volume de água consumido também indica o impacto ambiental causado pelo consumo deste bem, evidenciando quais são os produtos que impulsionam o

consumo de água e onde a economia pode ser obtida. Isso é abordado por Hoekstra e Hung (2002) a partir do conceito de pegada hídrica, um indicador do consumo de água acumulado ao longo do processo produtivo, cujo consumo de água pode ser dividido com base na origem do recurso, dividido em três categorias: azul, referente ao consumo de água retirado de corpos hídricos superficiais ou subterrâneos; verde, proveniente da precipitação e umidade da terra; e cinza, referente ao volume de água necessário para assimilar rejeitos despejados nos corpos hídricos a fim de manter um nível de qualidade adequado da água.

Em geral, o volume de água mensurado por ambas as abordagens coincide (Zhang et al., 2012), mas distanciam-se ao passo que a pegada hídrica desagrega o consumo de forma qualitativa, geográfica e temporal (Mubako, 2018). Assim a distinção entre os conceitos ocorre sobretudo no campo analítico. Enquanto a água virtual enfatiza o consumo de água como um fluxo de recursos entre regiões por meio do comércio; a pegada hídrica foca no uso da água como um insumo produtivo que gera um impacto ambiental para a população imediatamente relacionada às fontes hídricas utilizadas.

Por isso, a realização de um estudo que identifica o consumo global de água é relevante, pois o impacto ambiental e temporal transcende fronteiras geopolíticas. Portanto, o recurso deve ser compreendido como um bem comum global, cujo uso deve ser priorizado para o atendimento das necessidades humanas como um todo.

Assim Hoekstra e Mekonnen (2012) calcularam a pegada hídrica da humanidade para os anos de 1995 e 2005 e observaram que a soma dos três países com o maior consumo — sendo eles China, Índia e Estados Unidos — correspondem por 38% do consumo de água mundial. Arto et. al. (2016) por sua vez analisaram a variação do uso de água de 41 regiões (40 países e o resto do mundo) entre os anos de 1995 e 2008, apresentando um resultado similar ao anterior com o Brasil substituindo os Estados Unidos como o terceiro país que apresentou a maior variação no consumo de água no período analisado.

No artigo de Hoekstra e Mekonnen (2012) o consumo é desagregado e observam que a China e a Índia, possuem as maiores pegadas do tipo verde e cinza, sendo responsáveis por 24% e 26% das pegadas totais respectivamente. Enquanto em nível setorial a maior parcela do consumo de água decorre da agricultura (92%), a indústria, por sua vez, consome 4,4% e a demanda doméstica absorve 3,6%. Este último setor não se relaciona com a exportação, portanto todo o volume é consumido

domesticamente. No entanto, cerca de 20% dos recursos utilizados pela agricultura e indústria é direcionada para o comércio internacional de água virtual, o qual 76% é decorrente do comércio de produtos agrícolas, os 24% restantes estão igualmente distribuídos entre o comércio de produtos de origem animal e industriais. Sendo estes produtos mais intensivos no consumo de água azul e cinza (águas superficiais e poluição) em relação aos produtos destinados para o consumo doméstico (Hoekstra; Mekonnen, 2012).

Os maiores exportadores de água virtual bruta são os Estados Unidos, China, Índia, Brasil, Argentina, Canadá, Austrália, Indonésia, França e Alemanha. Enquanto os importadores de água virtual bruta são os Estados Unidos, Japão, Alemanha, China, Itália, México, França, Reino Unido e Países Baixos. Com relação à balança de água virtual a Austrália, Brasil, Canadá, China, Índia e Indonésia são exportadores líquidos de água virtual, ao passo que o Japão, Coreia do Sul, União Européia, México, Taiwan e Turquia são importadores líquidos (Arto et al., 2016; Hoekstra; Mekonnen, 2012), mas estes trabalhos divergem com relação à posição dos Estados Unidos e Rússia, enquanto o primeiro aponta os países como um exportadores líquidos, o segundo os apresenta como importadores líquidos, no entanto vale ressaltar que o horizonte temporal de análise são distintos, podendo ser uma das fontes da divergência de resultados.

## 2.2. INSUMO-PRODUTO

Em relação aos estudos acerca do tema da água que aplicam a análise de insumo-produto, destaca-se a contribuição significativa da China e dos Estados Unidos, além da participação relevante de outros países, tanto desenvolvidos quanto em desenvolvimento, o que evidencia a importância do tema (Ma et al., 2020; Mubako, 2018; Zhang et al., 2017). Muitos desses trabalhos se dedicam à mensuração da pegada hídrica em diferentes escalas espaciais — local, regional e global — abrangendo os três tipos de pegada: azul, verde e cinza (Mubako, 2018; Zhang et al., 2017). No entanto, Carrascal Incera, et al. (2017) destacam a escassez de estudos voltados ao consumo de água cinza, devido à limitação de dados disponíveis, mas os estudos realizados apresentam um conjunto de resultados relevantes para o entendimento do problema da escassez hídrica.

Esses estudos concentram-se principalmente nas fontes de consumo de água, sobretudo na agricultura (Hoekstra; Chapagain, 2006; Zhang et. al. 2017; Mubako, 2018; Zhu et. al. 2019; Sesso Filho et al., 2024c). O foco é justificado pelo impacto que o setor representa sobre o uso de água, por tanto diferentes perspectivas de análise são realizadas sobre a produção agrícola (Hoekstra; Mekonnen, 2012; Hou et al., 2018; Mekonnen; Gerbens-Leenes, 2020; Montoya, 2020). Destaca-se também *water-energy-food nexus*, que busca compreender as interrelações entre esses setores, visto que as políticas de gestão de água podem ter efeitos indiretos que se propagam ao longo da cadeia produtiva que afetam a dinâmica econômica por meio destes três pilares (Zhang et. al. 2017).

O modelo de insumo produto é uma das ferramentas mais utilizadas para mensurar o volume de água consumido, capaz de capturar o consumo direto e indireto de água ao longo da cadeia produtiva em diferentes níveis de agregação e escalas espaciais (Zhang et al. 2017; Mubako, 2018). Dentro deste campo de pesquisa estão incluídos os modelos de insumo-produto multirregional (MRIO) e insumo-produto ambiental (EEIO). Este é um método *top-down*, que parte dos dados agregados macroeconômicos e desagregam os fluxos entre os setores através das cadeias de suprimentos, o que permite evidenciar o volume de recursos incorporados ao longo da cadeia produtiva e quantificar o impacto ambiental associado ao comércio de bens entre regiões (Mabuko, 2018; Sun et al., 2025).

Dentre os estudos regionais que identificam o consumo de água dos países destaca-se algumas regiões pela sua significância no consumo global, ou pela forma como os recursos são utilizados. Como o caso da Índia para os anos de 2003 e 2004, onde o país captou 3052 bilhões de metros cúbicos (Bm<sup>3</sup>) de água, dos quais 96% foram destinados para a agricultura. Os demais setores não realizam retiradas diretas expressivas, mas são altamente dependentes de água indiretamente, por utilizarem insumos intensivos em água, como a agricultura e o setor de energia elétrica, cuja captação de água direta representa 56% do consumo do setor (Bogra et. al. 2016).

A agricultura indiana depende de água verde para a irrigação, tornando a produção agrícola vulnerável a alterações nos regimes de chuva que comprometem a segurança alimentar local. Contudo, em regiões mais secas, a maior dependência por água azul conflita com as necessidades do setor energético gerando efeitos em cadeia sobre os demais setores da economia (Bogra et. al. 2016; Bogra; Bakshi, 2020).

O Reino Unido, Itália, Japão e Coréia do Sul, por sua vez, são importadores de água virtual, ou seja, os impactos ambientais associados ao consumo desses países ocorrem fora de suas fronteiras nacionais (Yu et. al. 2010; Ali et. al. 2017; White et. al. 2018).

No caso britânico a aquicultura e os produtos florestais são intensivos em água, ou seja, consomem mais água para sua produção, no entanto em termos absolutos o volume é baixo em função da participação reduzida dos setores na economia nacional. No entanto, a agricultura e o setor de energia são os principais demandantes de água direta doméstica. Considerando a pegada hídrica total, o setor de produção de alimentos supera a agricultura, refletindo a elevada dependência de importação de água para o setor. De forma geral, Yu et. al. (2010) estima que 55% do consumo de água do Reino Unido é proveniente do exterior sob a forma de água virtual incorporada nos produtos importados.

De modo semelhante, a Itália, também um importador líquido de água, demanda recursos para atender as necessidades do consumo final. Enquanto a pegada hídrica ligada à produção se manteve estável entre 1995 e 2005, apresentando uma leve redução em 2009 em razão da crise financeira de 2008, a pegada hídrica do consumo permaneceu superior e crescente, ampliando a distância em relação à produção. As importações são provenientes principalmente de países em desenvolvimento, dentre eles China, Brasil, Rússia e Índia de produtos agrícolas e energia (Ali et. al. 2018).

No Japão, Liu et. al. (2022) incorpora distintas fontes de água, revelando um caso distinto. Embora a água verde represente a maior parcela da pegada hídrica, 31,4% da água captada no país provém de reuso. Assim, a indústria de base japonesa tem recorrido a fontes de água alternativas, como a água de reuso e do mar, diminuindo a pressão sobre a água azul. Porém, observa-se que 82% da água desperdiçada decorre dos setores de energia e infraestrutura de água, os quais apresentam elevados níveis de consumo de água potável. Com relação à demanda final, o consumo das famílias responde por 55% da água captada incorporada à produção, principalmente via agricultura, alimentos e serviços pessoais. As exportações, segunda categoria com a maior pegada hídrica, concentram-se na água virtual associada ao comércio de produtos químicos e de aço (Liu et. al. 2022).

Marston et. al. (2018) realizaram um dos estudos mais detalhados sobre a pegada hídrica regional, analisando os Estados Unidos. O trabalho ressaltou o uso

intensivo de água da chuva pela agricultura, realçando que os ganhos de eficiência no uso de água verde podem elevar a produtividade da colheita ao passo que reduzem a necessidade de irrigação. Além disso, mostra que 93% dos setores econômicos norte-americanos consomem mais água indiretamente. Portanto, caso houvesse substituição de insumos por fornecedores mais eficientes, essa proporção cairia para 72%. Este fato indica que a redução da pegada hídrica dos setores pode ser obtida por meio da reestruturação das cadeias produtivas ao invés de medidas internas de economia de água em cada setor (Maston et. al. 2018).

Na China, entre 1995 e 2005, observou-se aumento significativo da pegada hídrica, sobretudo pela elevação das exportações de água cinza, indicando a mudança na pauta de exportação da China de produtos agrícolas para industrializados (Tian et. al. 2018). Em 2009, destacaram-se as exportações de produtos têxteis e eletrônicos, exportando principalmente para os países desenvolvidos, entre eles Estados Unidos, Japão, Alemanha, Coreia do Sul e Canadá (Hou et. al. 2018).

Do lado do consumo, 83% da pegada hídrica chinesa foi suprida por recursos internos, enquanto a água virtual importada correspondeu a 17%, principalmente via produtos agrícolas vindos dos Estados Unidos, Brasil e Canadá. Em termos líquidos, a China é um exportador líquido de água, direcionando os fluxos principalmente para os Estados Unidos, Japão, Alemanha e Coreia do Sul (Hou et. al. 2018). Neste caso observa-se a estratégia de crescimento orientado pela exportação que impõe um custo ambiental e pressiona o nexo água-energia-alimento, configurando um desafio estratégico para o desenvolvimento futuro do país (White et. al. 2018).

### 2.3. DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL

A mensuração do consumo de água é uma ferramenta que avalia o impacto do consumo sobre os recursos hídricos, permitindo identificar quais produtos exercem maior pressão sobre a água e onde há potencial para a economia. Para os formuladores de políticas públicas, ela fornece um conjunto valioso de informações que podem orientar decisões voltadas à gestão sustentável da água. Contudo, por meio da decomposição estrutural é possível examinar as mudanças nos fluxos de uso da água ao longo do tempo, e avaliar a eficácia das políticas implementadas e

compreender como a estrutura econômica influencia o consumo dos recursos hídricos.

Estudos com esta abordagem foram realizados e aplicados em diferentes regiões e buscaram compreender os principais determinantes da pegada hídrica: Wang et al. (2016) analisaram as mudanças setoriais da pegada hídrica azul na China entre os anos de 1997 e 2007; Zhang et al. (2012) buscaram compreender a pegada hídrica do consumo de Pequim entre 1997 e 2007; Achraf et al. (2021) realizaram uma decomposição estrutural da pegada hídrica setorial no Marrocos entre 1995 e 2015; Napolini et al. (2020) apresentaram a decomposição estrutural da água no Brasil no período de 2013 a 2015; e Cazcarro et al. (2013) decompôs a pegada hídrica da Espanha considerando o período de 1980 até 2007. Os resultados obtidos em cada estudo são descritos a seguir.

Wang et al. (2016) identificam a redução da pegada hídrica da China ao longo do período analisado, impulsionada pelos efeitos tecnológicos e pela mudança na composição da demanda final, por outro lado, o aumento do nível de atividade econômica contribuiu para a elevação da pegada hídrica. Além desses fatores, observou-se que o crescimento populacional e estrutural. O primeiro exerceu uma pressão sobre o consumo de água, mas o impacto sobre a variação total foi limitado, quanto à estrutura produtiva da economia, o efeito apresentou reversões ao longo do tempo atuando como fator de aumento da pegada entre 2002 e 2005, e como fator de redução entre 2005 e 2007.

Zhang et al. (2012) observaram uma redução dos coeficientes de uso de água na zona administrativa de Pequim e o efeito tecnológico como principal responsável pela diminuição da pegada hídrica local. No entanto, a pegada total aumentou entre os períodos analisados, principalmente em função da dependência crescente de recursos hídricos externos, indicando maior importação de água virtual. Esse resultado reflete uma política regional de restrição a indústrias intensivas em uso de água, que levou à realocação gradual desses setores para fora da região.

Achraf et al. (2021) mostram que a estrutura da demanda final foi o principal fator responsável pelo aumento da pegada hídrica no Marrocos, em conjunto com o efeito tecnológico — o que indica uma piora na eficiência hídrica do país. Dentro da análise setorial a agricultura destaca-se como o setor com maior contribuição para o aumento do consumo de água. Em contrapartida, a estrutura produtiva marroquina atuou como um fator mitigador do estresse hídrico.

Situação semelhante é observada no Brasil, conforme analisado por Napolini et al. (2020), que identificaram um aumento da pegada hídrica ao longo do período estudado, com predominância do efeito da demanda final sobre o consumo de água. O setor de agricultura, pecuária, silvicultura e pesca foi o principal responsável por esse impacto, impulsionado pelo aumento das exportações. Os autores também destacam o período de 2014 a 2015, em que o efeito tecnológico mostrou-se mais relevante que o efeito estrutural, indicando que a crise hídrica vivenciada no país nesse intervalo teve maior influência sobre os efeitos de intensidade, contribuindo para a redução da pegada hídrica, em relação à crise estrutural econômica.

Por fim, Cazcarro et al. (2013) elucidam a experiência da Espanha e apontam que houve um aumento da pegada hídrica, mas este foi acompanhado pelo crescimento populacional. A partir deste fato constrói-se um indicador sintético que atribui ao consumo per capita um aumento de 14.888 litros por pessoa ao longo dos 27 anos considerados, evidenciando uma tendência da população espanhola ao consumo de produtos mais intensivos em água. A demanda final, nesse contexto, desempenhou papel central na elevação do consumo, com uma parcela significativa puxada pelas exportações. Ainda assim, a estrutura produtiva espanhola foi o principal fator de economia de água ao longo do período analisado

### 3.METODOLOGIA

Para avaliar os efeitos e os determinantes das mudanças no consumo de água, a literatura aponta duas metodologias principais: a *Structural Decomposition Analysis* (SDA) e a *Index Decomposition Analysis* (IDA). Ambas visam decompor a tendência temporal de uma variável em um conjunto de forças motrizes, que atuam como aceleradores ou inibidores, com base em dados históricos (Cazcarro et al., 2013; Hoekstra; Van Den Bergh, 2003; Miller; Blair, 2013).

A principal diferença entre os métodos está na base de dados utilizada. Enquanto a SDA realiza a decomposição a partir da matriz de insumo-produto (MIP), permitindo a decomposição dos efeitos técnicos e econômicos, a IDA utiliza apenas dados agregados por setor. Isso confere ao IDA a vantagem de exigir um volume menor de informações e disponibilizados com maior regularidade, tornando-o mais simples e acessível, capaz de detalhar variações no tempo e por país. No entanto, essa simplificação também representa uma limitação, pois o método não capta com precisão os fatores estruturais que afetam a variável analisada — um aspecto que é melhor explorado pela SDA, devido ao alto grau de detalhamento da MIP e à sua capacidade de incorporar efeitos indiretos (Hoekstra; Van Den Bergh, 2003).

#### 3.1.BASE DE DADOS

Para realizar a análise acerca da mudança estrutural do consumo mundial de água será aplicada a metodologia da SDA para identificar quais são os efeitos econômicos e sociais que determinam o consumo de água mundial entre os anos de 1990 e 2015. Os dados utilizados foram extraídos do EORA, referente aos anos de 1990, 2002 e 2015, que disponibiliza as matrizes de insumo produto e as contas ambientais do consumo de água desagregado entre os três tipos de pegada hídrica (Lenzen et al.,2012, Lenzen et al.,2013).

A análise se estende por um período de 25 anos, cuja disponibilidade de tempo é permitida pela base de dados do EORA. Dada a longa extensão para análise, dividiu-se em dois segmentos partindo de 1990 a 2002 e de 2002 até 2015. O ano de ruptura da série temporal (2002) marca o meio do período considerado, mas também

é o primeiro ano após a inclusão da China na Organização Mundial do Comércio (OMC).

Shapiro e Walker (2018) observam que houve redução nas poluições causadas pela produção dos EUA entre 1990 e 2008 e apontam três explicações por trás deste evento: transferência de indústrias poluidoras para fora do país; efeitos das políticas ambientais; e o aumento da produtividade. A entrada da China na OMC pode ter causado uma realocação da produção tanto no sentido de assumir as indústrias poluidoras permitindo que os EUA permaneçam com aquelas mais eficientes (Shapiro; Walker, 2018).

Portanto, com o forte crescimento da China e as interações comerciais com o resto do mundo, observa-se que este ano pode gerar uma série de efeitos para as variáveis econômicas e ambientais como um todo. Desta forma a introdução de uma análise antes e após a entrada da China na OMC pode revelar um conjunto de informações relevantes acerca da relação mundial no consumo de água.

### 3.2.MATRIZ DE INSUMO PRODUTO

A MIP foi originalmente desenvolvida por Leontief (1936), inspirada conceitualmente na *Tableau Économique* de Quesnay, com o objetivo de representar o funcionamento interdependente dos setores de uma economia (Leontief, 1936; Miller; Blair, 2013). Nesse modelo, os fluxos de bens e serviços resultantes das atividades produtivas são organizados em uma matriz, onde cada setor econômico aparece como comprador (*input*) e vendedor (*output*) de bens e serviços. Com base no princípio contábil das partidas dobradas, o sistema é estruturado em uma tabela de dupla entrada, onde as linhas indicam o destino da produção de cada setor e as colunas indicam a origem dos insumos utilizados por cada setor em seu processo produtivo.

O modelo básico do insumo-produto é representado pela equação:

$$x = Zi + f = (I - A)^{-1} \cdot f \quad (3.2.1)$$

---

<sup>1</sup> Seguindo o padrão para notação as matrizes são representadas por letras maiúsculas em negrito; vetores colunas por letras minúsculas em negrito. Enquanto as operações de transposição e inversa de uma matriz são expressas pelo símbolo da apóstrofe e o índice sobrescrito "-1". Além disso, são realizadas operações de diagonalização, onde um vetor é transformado em uma matriz quadrada, onde

$$A = Zx^{-1} \quad (3.2.2)$$

Onde  $x$  é a produção por setor em cada país;  $Z$  consumo intermediário;  $f$  demanda final;  $i$  um vetor de tamanho apropriado composto por elementos iguais a 1,  $I$  uma matriz identidade de tamanho apropriado;  $A$  os coeficientes técnicos e  $L$  a inversa de Leontief.

### 3.3. Cálculo da pegada hídrica

Para incorporar o uso de recursos hídricos a MIP — que é representada em termos monetários — é convertida em unidades físicas por meio do vetor  $c$  de intensidade do uso de água, que representa o volume de água consumido diretamente para cada unidade monetária do produto, definido pela equação 3.3.1.

$$c' = w' \hat{x}^{-1} \quad (3.3.1)$$

Multiplicando a equação 3.2.1 pelo vetor de intensidade do uso da água (equação 3.3.1), obtém-se o volume de água consumido, ou seja, a mensuração da pegada hídrica mundial, conforme expresso na equação 3.3.2

$$W = cx = cLf \quad (3.3.2)$$

Desta forma tem-se que o consumo de água mundial  $W$  é composto por três fatores: a intensidade de água, as relações intersetoriais e a demanda final. Contudo a demanda final pode variar em função do montante total do consumo (equação 3.3.3) e pelo mix de produtos demandados (equação 3.3.4) (Miller; Blair, 2013).

$$y = i' f \quad (3.3.3)$$

$$\tilde{f} = \frac{1}{y} f \quad (3.3.4)$$

Onde  $y$  é um escalar do nível da demanda final dado pelo somatório do vetor de demanda final e  $\tilde{f}$  é o vetor que representa a proporção do consumo da demanda

---

a diagonal principal é composta pelos valores do vetor original e as demais entradas são iguais a zero; vetores diagonalizados são marcados pelo acento circunflexo

final com o cada produto<sup>2</sup>. Desta forma o volume de água consumido pode ser expresso por:

$$W = cL\tilde{f}y \quad (3.3.5)$$

### 3.4.DECOMPOSIÇÃO ESTRUTURAL

A variação do consumo de água ao longo do tempo pode ser detalhada por meio da análise de decomposição estrutural, método de estática comparativa que permite mensurar as mudanças estruturais de uma economia com base em um conjunto de fatores que influenciam o desenvolvimento de uma variável, a partir dos dados históricos entre dois períodos de tempo (Miller; Blair, 2013). Matematicamente os resultados podem ser obtidos por meio de dois métodos: aditivo, onde as diferenças são obtidas em termos absolutos; enquanto a forma multiplicativa decompõe o indicador em termos proporcionais (Hoekstra; Van Der Bergh, 2003). A decomposição aditiva é facilmente interpretada e amplamente utilizada na literatura (Lan et al. 2016; Su; Ang, 2012), sendo aplicada ao presente estudo.

A partir da equação 3.3.5 observa-se que a pegada hídrica pode ser explicada por quatro fatores: a intensidade hídrica; as relações intersetoriais; mix de produtos; e nível da demanda final. A decomposição da pegada hídrica consiste em isolar o efeito de cada variável sobre a mudança total da pegada hídrica ao longo do tempo, a partir da diferença dos volumes observados em dois períodos de tempo, como na equação 3.4.1.

$$W_1 - W_0 = c_1L_1\tilde{f}_1y_1 - c_0L_0\tilde{f}_0y_0 \quad (3.4.1)$$

Onde os subscritos  $t = \{0,1\}$  indicam respectivamente o período inicial e final. No entanto, há  $n!$  formas matematicamente equivalentes de decompor a variação, sendo  $n$  o número de fatores que compõem a variável a ser explicada, e não há fundamentos teóricos que justifiquem a preferência por uma fórmula específica em detrimento das demais. Ainda assim, Dietzenbacher e Los (1998) demonstram que os resultados obtidos a partir das diferentes fórmulas de decomposição não são equivalentes, portanto, a escolha de um método específico pode acrescentar vieses aos resultados.

---

<sup>2</sup> Observe que a multiplicação da equação 3.3.3 e equação 3.3.4 obtem-se o vetor de demand final original.

Diante disso, os autores propõem o uso da média entre todas as possíveis composições. Em particular, observam que o emprego da média das duas chamadas fórmulas polares (em que as variáveis são avaliadas com base nos valores do período inicial e final) gera resultados muito próximos à média de todas as decomposições possíveis, oferecendo, assim, uma solução prática e confiável, que é amplamente aplicada nos estudos de decomposição estrutural, reduzindo a complexidade e necessidade de poder computacional para a realização do exercício.

A decomposição baseada nos moldes propostos por Dietzenbacher e Los (1998) é dada pelo somatório dos efeitos dados pelas equações 3.4.2a, 3.4.2b, 3.4.2c, 3.4.2d.

$$\text{efeito intensidade} = \frac{1}{2}(\Delta c)(L_1\tilde{f}_1y_1 - L_0\tilde{f}_0y_0) \quad (3.4.2a)$$

$$\text{efeito tecnologia} = \frac{1}{2}(c_0L_0(\Delta A)L_1\tilde{f}_1y_1 - c_1L_1(\Delta A)L_0\tilde{f}_0y_0) \quad (3.4.2b)$$

$$\text{efeito estrutura da demanda final} = \frac{1}{2}(c_0L_0(\Delta\tilde{f})y_1 - c_1L_1(\Delta\tilde{f})y_1) \quad (3.4.2c)$$

$$\text{efeito volume da demanda final} = \frac{1}{2}(c_0L_0\tilde{f}_0 - c_1L_1\tilde{f}_1)(\Delta y) \quad (3.4.2d)$$

Desta forma separa-se os efeitos em dois grupos, ligados à produção e ao consumo. No primeiro, o efeito intensidade reflete a variação decorrente da mudança da intensidade de uso de recursos hídricos, isto pode ser interpretado como uma mudança tecnológica ou eficiência ambiental. E o efeito tecnologia capta as mudanças da matriz de coeficientes técnicos, ou seja, mudanças nas interdependências produtivas entre setores, como substituição de insumos ou tecnologias.

Em relação às variações em função da demanda apresenta-se o efeito estrutura da demanda final que considera as mudanças na composição setorial da demanda final, representa o padrão de consumo da economia, que ao longo do tempo altera a sua cesta de consumo que pode conter bens mais ou menos intensivos em água. E o efeito volume da demanda final representando a variação no volume total da demanda final, refletindo o impacto do crescimento ou contração econômica. A soma desses quatro efeitos explica a variação total observada da pegada hídrica.

### 3.5.MÉTODO DE DEFLAÇÃO

As MPIs de 1990, 2002 e 2015 disponibilizadas pelo EORA desagrega as economias nacionais de 190 regiões (189 países e o resto do mundo) em 26 setores

\footnote {Verifique o apêndice B para obter a lista de setores e países incluídos na análise} (Lenzen et al., 2013a), e consumo de água desagregado entre os três tipos: azul, cinza e verde (Lenzen, et al., 2013b). No entanto, os valores monetários (presentes nas tabelas de insumo-produto) não são uma medida de valor invariável, impossibilitando a comparação direta entre valores, visto que a unidade de medida não é a mesma. Desta forma a deflação da MIP é imprescindível para a análise temporal (Miller; Blair, 2013).

Alves-Passoni e Freitas (2022) apontam que os efeitos estruturais são influenciados pelo método aplicado na deflação dos valores monetários, ao analisar o efeito utilizando três métodos distintos: deflator único; deflator por elemento; e a dupla deflação. Observam que a deflação pode não garantir a exclusão completa da variação de preços em função da variação dos preços relativos.

Alves-Passoni e Freitas (2002) indicam que o método da dupla deflação, embora amplamente empregado na literatura, não é recomendado para uma série com um ano fixo. Este método é consistente quando analisado entre pares de anos, ou seja, a valoração a preços do ano anterior. Contudo, ao analisar um período mais extenso perde-se a aditividade, característica necessária para o fechamento da matriz de insumo-produto.

Utilizando deflatores específicos é possível isolar o efeito da variação dos preços relativos mantendo os elementos em termos de volume, mas a série não é aditiva para anos não consecutivos, além da necessidade da existência da MIP em preços correntes e a preços do ano anterior.

Desta forma para a deflação dos valores da MIP foi implementado um deflator único, pela ausência da MIP valorada em preços do ano anterior e a complexidade de criar-se um conjunto de indicadores setoriais para os 26 setores de todos os países analisados. O método então empregado é proposto por Lan et al (2016) e Lenzen et al (2013a), além de ser consistente e manter a aditividade da MIP.

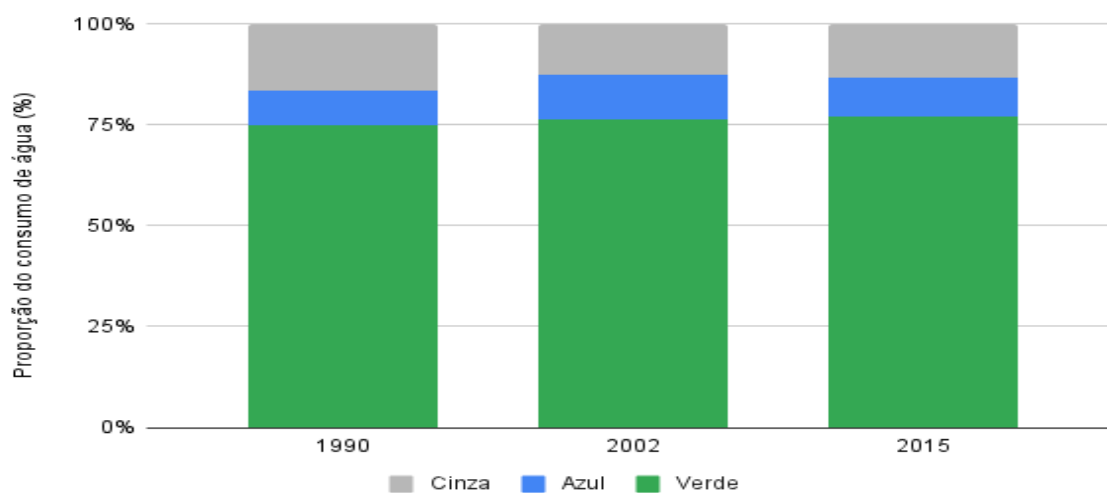
O deflator utilizado foi a taxa de inflação do dólar acumulada ao longo do período, visto que os dados provenientes do EORA estão mensurados em valores de dólares correntes, obtido por meio do \textit{Bureau of Economic Analysis}. Como o período de análise foi seccionado em duas partes, foram coletados os índices de inflação entre 1990 e 2002 e de 2002 a 2015, levando, respectivamente, os dados da MIP de 1990 a preços de 2002 e da MIP 2002 a preços de 2015.

#### 4. RESULTADOS

O consumo de água mundial aumentou entre 1990 e 2015, partindo de 9.276 Bm<sup>3</sup> atingindo o nível de 38.807 Bm<sup>3</sup>, isso representa um aumento de 29.531 Bm<sup>3</sup>, ou seja, a estrutura econômica de 2015 utilizou quatro vezes mais água em relação a 1990. Desta variação 10% é referente ao consumo de água azul, 78% água verde e 12% água cinza.

A gráfico 1 apresenta a composição percentual do consumo global de água segundo o tipo de água nos anos de 1990, 2002 e 2015. Observa-se que a água verde representa a maior parcela do consumo em todos os anos analisados. Embora sua participação apresente uma trajetória levemente crescente ao longo do período, passando de 75,0% em 1990 para 77,2% em 2015, a diferença entre os extremos é relativamente modesta, indicando elevada estabilidade na estrutura do uso da água.

**Gráfico 1** - Estrutura do consumo de água mundial



**Fonte:** O próprio autor

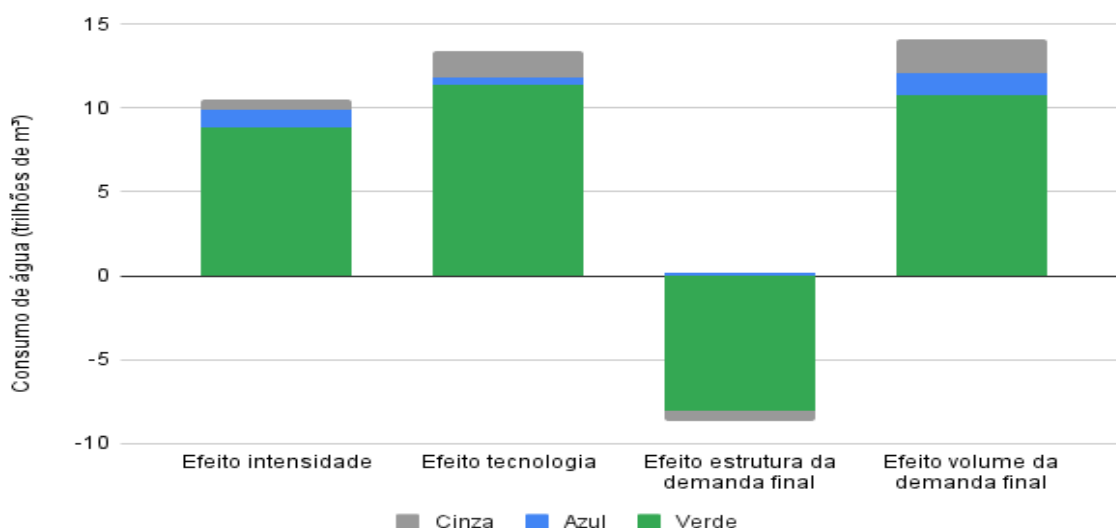
Em relação à água azul, verifica-se um aumento entre 1990 e 2002, quando sua participação se eleva de 8,5% para 11,2%, seguido por uma redução no período 2002–2015, atingindo 9,6% em 2015. Já a água cinza apresenta comportamento oposto, com diminuição de sua participação no primeiro subperíodo e posterior recuperação no segundo, passando de 16,5% em 1990 para 12,6% em 2002 e 13,2% em 2015. Esses movimentos compensatórios entre os tipos de água contribuem para

a manutenção de uma estrutura relativamente estável do consumo hídrico global, apesar das transformações econômicas ocorridas no período.

Os resultados sugerem que a natureza hídrica da economia global permaneceu fortemente ancorada em atividades intensivas em água verde, embora o volume total de água consumida tenha se alterado significativamente. Ainda é possível verificar os fatores causais da mudança no consumo de água por meio dos resultados da SDA apresentados a seguir.

O efeito volume da demanda final é o principal fator explicativo para o aumento da pegada hídrica gráfico 2. O resultado positivo é esperado dado que o aumento da atividade econômica e/ou da população demandam mais recursos para a produção dos bens finais requeridos pela economia.

**Gráfico 2** - Decomposição estrutural da pegada hídrica mundial entre 1990 e 2015

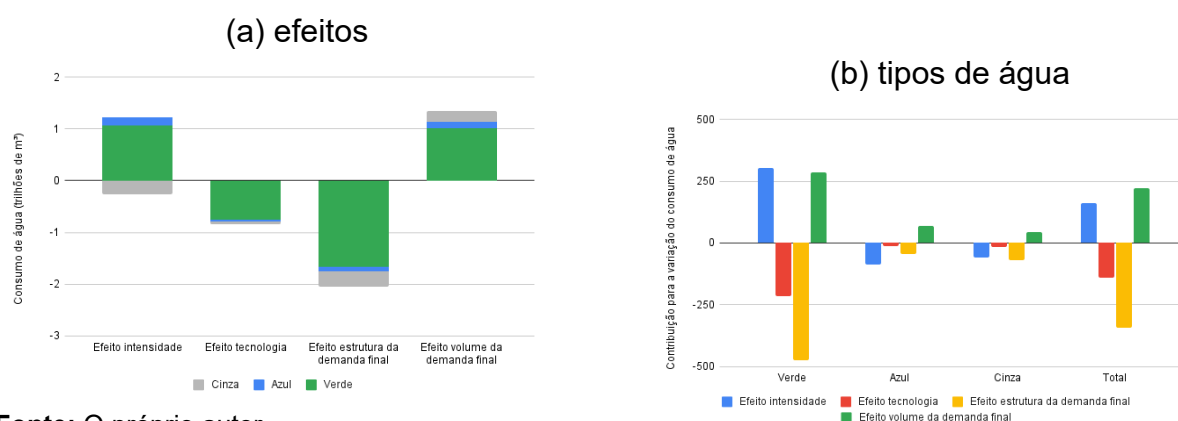


**Fonte:** O próprio autor

No entanto, os efeitos ligados à produção (intensidade e tecnologia) também impulsionam o consumo de água no período como um todo, enquanto a estrutura da demanda final agiu a favor da economia de recursos hídricos. Isso significa que os processos produtivos se tornam menos eficientes no uso de água, bem como aumentaram o consumo de insumos intensivos em água, ao passo que a cesta de bens consumidos pelos indivíduos se reestruturou tornando-se menos intensivo em água.

A gráfico 3, apresenta os resultados da decomposição estrutural por efeitos gráfico 3a e tipo de água (gráfico 3b) para o primeiro subperíodo correspondente aos anos de 1990 e 2002. Verifica-se que o período apresentou um grande avanço na economia de recursos hídricos reduzindo em 602 Bm<sup>3</sup> em relação ao volume de 1990, por meio do efeito tecnologia e estrutura da demanda final ligados principalmente ao uso de água verde.

**Gráfico 3 - Decomposição estrutural da pegada hídrica entre 1990 e 2002**

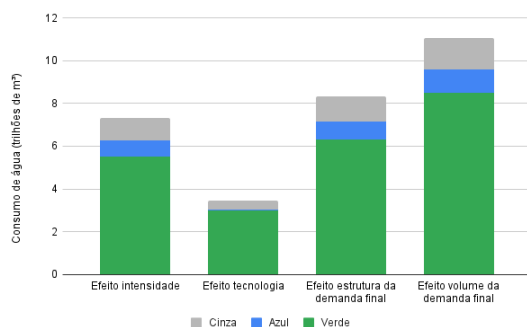


Fonte: O próprio autor

Contudo o cenário é revertido após 2002 em que o consumo de água é intensificado em todos os efeitos (gráfico 4a) apresentando um aumento no consumo na ordem de 30.133 Bm<sup>3</sup>. Todavia são os efeitos ligados ao consumo (estrutura e volume da demanda final) que geram maior impacto no consumo de água. Apesar da participação significativa da perda de eficiência hídrica, o efeito tecnológico é menor, embora ainda positivo, indicando um crescimento contido no uso de água pela produção de bens<sup>3</sup>.

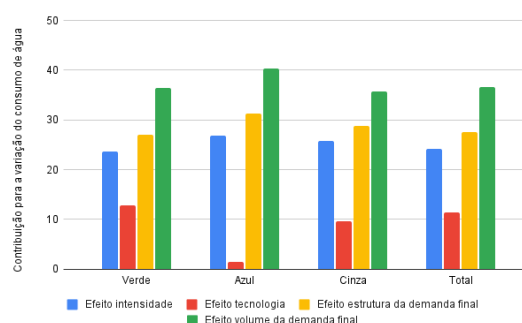
<sup>3</sup> Os resultados das decomposições estruturais dos subperíodos não são aditivos por dois motivos principais. Primeiro, a SDA aplicada a modelos de insumo-produto é não linear, de modo que a decomposição da variação do consumo de água é realizada em torno de estruturas econômicas distintas, as quais não são aditivas no tempo. Em segundo lugar, na metodologia adotada para a decomposição dos subperíodos, as matrizes de insumo-produto são expressas em diferentes bases de preços, o que impede uma comparação direta e estritamente aditiva entre os resultados. Ainda assim, o sinal, a magnitude relativa e o ranking dos efeitos permanecem informativos e comparáveis entre os períodos.

**Gráfico 4 - Decomposição estrutural da pegada hídrica entre 2002 e 2015**  
(c) efeitos



Fonte: O próprio autor

(d) tipos de água



Estas relações podem ser melhor observadas na tabela 1, onde a decomposição estrutural da variação da pegada hídrica é representada segundo os principais efeitos e tipos de água. Os valores estão expressos em termos proporcionais, de modo que o somatório das contribuições dos efeitos é igual a 1, o que corresponde à variação total observada no período.

**Tabela 1 - Decomposição estrutural da pegada hídrica por tipo de água de 1990-2015 (em termos proporcionais)**

	Verde	Azul	Cinza
Efeito intensidade	30,08	3,51	2,09
Efeito tecnologia	38,65	1,35	5,28
Efeito estrutura da demanda final	-27,34	0,67	-1,96
Efeito volume da demanda final	36,47	4,41	6,80

Fonte: O próprio autor

De forma geral os resultados são reforçados, onde verificamos que a proporção do aumento do consumo de água do tipo verde é mais alta em todos os efeitos, sendo responsável por 78% da variação total, evidenciando a relevância desta fonte de recurso para a estrutura produtiva. Contudo, entre os efeitos determinantes do consumo de água destaca-se o efeito do volume da demanda final, sendo este particularmente relevante para as pegadas azul e cinza, como o fator que mais impulsionou o uso deste tipo de recurso, mas o efeito da estrutura da demanda final reduz a pegada hídrica verde e cinza.

#### 4.1. ANÁLISE SETORIAL

Embora o EORA discrimine as economias em 26 setores produtivos, parte dos resultados é apresentada de forma agregada em três grandes setores — primário, secundário e terciário<sup>4</sup> — com o objetivo de facilitar a interpretação dos efeitos estruturais identificados pela SDA e evidenciar padrões gerais de uso da água ao longo da estrutura produtiva. Assim a análise dos resultados da decomposição estrutural é conduzida em nível setorial, explorando tanto a desagregação original da base EORA quanto as agregações setoriais.

Nas tabelas 2 a 4 são apresentadas a participação de cada setor no consumo de água desagregado por tipo de pegada em cada um dos anos analisados (1990, 2002 e 2015). Percebe-se que o setor primário é o maior consumidor de água entre os três, tornando-se o maior consumidor de água cinza desde 2002 substituindo o setor terciário.

**Tabela 2** - Participação setorial no consumo de água por tipo de água - 1990

	Verde	Azul	Cinza
Primário	83,65	83,91	34,72
Secundário	16,10	11,04	20,20
Terciário	0,25	5,05	45,07

Fonte: O próprio autor

**Tabela 3** - Participação setorial no consumo de água por tipo de água - 2002

	Verde	Azul	Cinza
Primário	97,00	92,88	69,83
Secundário	3,00	5,17	15,49
Terciário	0,00	1,95	14,67

Fonte: O próprio autor

**Tabela 4** - Participação setorial no consumo de água por tipo de água - 2015

	Verde	Azul	Cinza
Primário	85,71	87,71	59,96

<sup>4</sup> Setor primário refere-se aos setores ligados à agricultura, piscicultura e extração; o setor secundário referente a indústria de transformação e construção e o setor terciário de serviços

Secundário	14,10	11,56	35,06
Terciário	0,20	0,72	4,98

Fonte: O próprio autor

O setor secundário, por sua vez, apresenta um nível de consumo intermediário, significativamente inferior ao observado no setor primário. No que se refere à água cinza, observa-se uma retração da participação do setor entre 1990 e 2002, seguida por uma expansão expressiva em 2015.

O setor terciário, por outro lado, apresentou redução contínua de sua participação no consumo de água ao longo do período analisado, com destaque para a água cinza. Nesse caso, a participação setorial recuou de 45,07% em 1990 para 4,98% em 2015, indicando uma perda substancial de relevância relativa desse setor no consumo desse tipo de recurso hídrico.

As tabelas 5 a 10 apresentam os resultados da decomposição estrutural do consumo de água dos setores econômicos, considerando os períodos de 1990–2002 e 2002–2015. Em conjunto com os resultados já apresentados é possível verificar como a estrutura do consumo de água mundial se alterou em função da atuação dos diferentes setores econômicos na produção de bens.

**Tabela 5** - Composição percentual da variação da pegada hídrica verde mundial por setor e efeito (1990–2002)

	Efeito intensidade	Efeito tecnologia	Efeito estrutura da demanda final	Efeito volume da demanda final	Total
Primário	495,01	-224,27	-361,15	249,54	159,13
Secundário	-197,92	15,07	-99,90	28,41	-254,34
Terciário	-3,76	0,02	-1,43	0,38	-4,79

Fonte: O próprio autor

**Tabela 6** - Composição percentual da variação da pegada hídrica azul mundial por setor e efeito (1990–2002)

	Efeito intensidade	Efeito tecnologia	Efeito estrutura da demanda final	Efeito volume da demanda final	Total
Primário	100,86	-20,24	-11,91	62,71	131,43

Secundário	-10,42	8,72	-24,06	5,68	-20,07
Terciário	-4,62	-0,20	-8,98	2,45	-11,35

Fonte: O próprio autor

**Tabela 7** - Composição percentual da variação da pegada hídrica cinza mundial por setor e efeito (1990–2002)

	Efeito intensidade	Efeito tecnologia	Efeito estrutura da demanda final	Efeito volume da demanda final	Total
Primário	26,53	-4,91	10,45	21,92	53,99
Secundário	-22,45	-7,30	-10,74	8,38	-32,11
Terciário	-64,00	-2,53	-70,59	15,24	-121,88

Fonte: O próprio autor

**Tabela 8** - Composição percentual da variação da pegada hídrica verde mundial por setor e efeito (2002-2015)

	Efeito intensidade	Efeito tecnologia	Efeito estrutura da demanda final	Efeito volume da demanda final	Total
Primário	14,75	11,38	24,09	32,30	82,52
Secundário	8,79	1,59	2,83	4,03	17,23
Terciário	0,16	0,01	0,03	0,05	0,25

Fonte: O próprio autor

**Tabela 9** - Composição percentual da variação da pegada hídrica azul mundial por setor e efeito (2002-2015)

	Efeito intensidade	Efeito tecnologia	Efeito estrutura da demanda final	Efeito volume da demanda final	Total
Primário	21,57	0,79	27,50	36,03	85,89
Secundário	5,80	0,63	3,53	3,87	13,82
Terciário	-0,47	0,07	0,25	0,44	0,29

Fonte: O próprio autor

**Tabela 10** - Composição percentual da variação da pegada hídrica cinza mundial por setor e efeito (2002-2015)

	Efeito intensidade	Efeito tecnologia	Efeito estrutura da demanda final	Efeito volume da demanda final	Total
Primário	12,68	5,30	16,92	22,37	57,28
Secundário	16,81	3,91	8,98	10,67	40,37
Terciário	-3,73	0,51	2,87	2,70	2,35

Fonte: O próprio autor

A perda de participação dos setores secundário e terciário no consumo de água está associada não apenas a eventuais reduções absolutas do consumo, mas, sobretudo, à expansão significativamente mais intensa do consumo do setor primário ao longo dos períodos analisados. Os resultados da decomposição estrutural entre 1990 e 2002 indicam que esse crescimento no setor primário foi liderado principalmente pelo efeito intensidade e, em menor proporção, pelo efeito volume da demanda final. Embora os efeitos tecnologia e estrutura da demanda final tenham contribuído para mitigar o consumo de água, sua magnitude não foi suficiente para compensar os efeitos expansionistas, resultado que se verifica de forma consistente para os três tipos de água considerados.

No caso do setor terciário, a perda de participação no consumo de água — particularmente de água cinza — não decorre necessariamente de uma redução absoluta do consumo, mas sim de um crescimento relativamente mais lento quando comparado aos demais setores, especialmente ao setor primário. Esse comportamento evidencia que as mudanças na estrutura setorial do consumo de água foram fortemente condicionadas pela dinâmica de expansão do setor primário ao longo do período.

Em relação aos setores desagregados<sup>5</sup> identifica-se que apesar da tendência total observada de aumento do consumo de água, os setores demonstraram uma tendência de economia sobretudo na primeira metade do período de 1990 a 2002. Observa-se para um conjunto de 9 setores a utilização de insumos menos intensivos em água, 13 setores com ganho de eficiência hídrica e com a exceção de um setor o

<sup>5</sup> Decomposição setorial disponível na tabela 13, apêndice C.

efeito negativo para a estrutura da demanda final. Porém o padrão é revertido para a mudança estrutural entre 2002 e 2015.

No entanto, no período como um todo, a agricultura foi o setor que apresentou a maior variação no consumo de água, com um aumento de 24.490 Bm<sup>3</sup>, cerca de 83% da variação da pegada hídrica total do período. Apesar disso o setor foi o que mais contribuiu para a economia de água verde e cinza em função do efeito estrutura da demanda final (-6.898,16 Bm<sup>3</sup> e -287,72 Bm<sup>3</sup> respectivamente), sendo os setores de equipamentos elétricos e máquinas os e equipamentos de transporte os que apresentaram a maior variação para estes efeitos (21,95 Bm<sup>3</sup> e 84,91 Bm<sup>3</sup>, respectivamente).

Além disso, constata-se melhorias pontuais como o ganho de eficiência hídrica do setor de educação, saúde e outros serviços; e no efeito tecnologia dos setores de equipamentos de transporte e educação, saúde e outros serviços. Contudo o efeito volume da demanda final contribuiu para o aumento da pegada hídrica em todos os setores.

O efeito estrutura da demanda final, apesar do aumento na água do tipo azul, o seu impacto total contribuiu para a economia de água, puxado principalmente pelo setor agrícola, isso pode ser um indicativo de uma mudança no padrão de consumo alimentar da população como apresentado por Vanham e Bidoglio (2012). Há exceções no caso dos setores de equipamentos de transporte; equipamentos elétricos e máquinas; produtos de petróleo, químicos e minerais não metálicos; transporte; produtos de metal; e têxteis e vestuário, que apresentaram indicadores positivos para a estrutura da demanda final.

A análise setorial por tipo de água evidencia que o consumo de água verde aumentou de forma generalizada em todos os setores econômicos. Em contrapartida observam-se reduções pontuais na pegada azul e cinza nos setores de administração pública e educação, saúde e outros serviços, enquanto o setor de equipamentos de transporte reduziu o consumo de água cinza por meio da mudança na sua estrutura produtiva. Esses resultados indicam que apesar do crescimento global da pegada hídrica, houve contribuições setoriais específicas que atenuaram parcialmente esse aumento, refletindo mudanças na composição e eficiência do uso dos diferentes tipos de água.

## 4.2. PRINCIPAIS ECONOMIAS

Do ponto de vista nacional o efeito intensidade e volume da demanda final foram positivos para todos os países entre 1990 e 2015<sup>6</sup>, sugerindo um crescimento generalizado na quantidade de água utilizada por unidade de valor adicionado e a influência do crescimento econômico sobre a expansão do uso da água. O efeito tecnologia, por sua vez, contribuiu para o aumento da pegada hídrica na maioria dos países, exceto para 28 países<sup>7</sup> dos 164 disponíveis para análise. Em contrapartida, o efeito estrutura da demanda final contribuiu majoritariamente para a economia de água<sup>8</sup>.

Com base nos resultados obtidos, é possível realizar comparações com estudos regionais apresentados na seção de revisão da literatura. Wang et al. (2016) apontam que o efeito tecnologia contribuiu consistentemente para a redução da pegada hídrica total da China no período de 1997 a 2007. Este efeito foi observado no segundo subperíodo de 2002-2015 em função principalmente do setor agrícola. Além do mais, os achados para a China são compatíveis com as análises multirregionais, evidenciando a contribuição expressiva do país para o aumento da pegada hídrica global.

No caso do Marrocos, Achraf et al. (2021) realizaram a decomposição estrutural em três fatores: intensidade, tecnologia e demanda final. Este último fator foi representado pela combinação dos efeitos estruturais da demanda final e volume da demanda final, conforme a metodologia adotada no presente trabalho. Os autores identificaram que a demanda final foi o principal fator responsável pelo aumento do consumo de água no país entre 1995 e 2015, seguida pelo efeito intensidade, enquanto o efeito tecnologia atuou como redutor do consumo. Especificamente, o efeito tecnologia reduziu a pegada hídrica em 3.201 Bm<sup>3</sup>, enquanto o efeito intensidade provocou um aumento de 39.086 Bm<sup>3</sup>. A demanda final, por sua vez,

---

<sup>6</sup> Decomposição nacional disponível na tabela 14, apêndice C.

<sup>7</sup> Arábia Saudita, Azerbaijão, Bangladesh, Brasil, Bulgária, Canadá, Colômbia, Coreia do Sul, Croácia, Cuba, Dinamarca, Egito, Espanha, Finlândia, França, Iêmen, Iraque, Itália, Japão, Jordânia, Líbia, Marrocos, Myanmar, Reino Unido, Rússia, Síria, Suécia, Tunísia.

<sup>8</sup> O efeito é positivo presente em 42 países: Angola, Arábia Saudita, Azerbaijão, Bangladesh, Brasil, Cazaquistão, China, Colômbia, Coreia do Sul, Costa Rica, EAU, Egito, Equador, Filipinas, Guatemala, Iêmen, Índia, Indonésia, Irã, Iraque, Irlanda, Jordânia, Líbano, Malásia, México, Myanmar, Nepal, Nigéria, Omã, Paquistão, Peru, Polônia, Qatar, República Dominicana, República Tcheca, Singapura, Sri Lanka, Suíça, Tailândia, Tunísia, Turquia, Venezuela.

elevou o consumo em 40.358 Bm<sup>3</sup>. No entanto, ao desagregar esse efeito, observa-se que a estrutura da demanda final reduziu a pegada hídrica em 5.810 Bm<sup>3</sup> no período de 1990 a 2015.

Em relação ao caso brasileiro, a decomposição da pegada hídrica em três fatores — intensidade, tecnologia e demanda final — confirma os resultados observados por Napolini et al. (2020). Entre 1990 e 2015, os efeitos intensidade e demanda final aumentaram a pegada hídrica do Brasil em 644.996 Bm<sup>3</sup> e 951.567 Bm<sup>3</sup>, respectivamente, enquanto o efeito tecnologia contribuiu para uma redução de 108.656 Bm<sup>3</sup>, destacando o setor de agricultura e pesca foi responsável por 78% dessa redução.

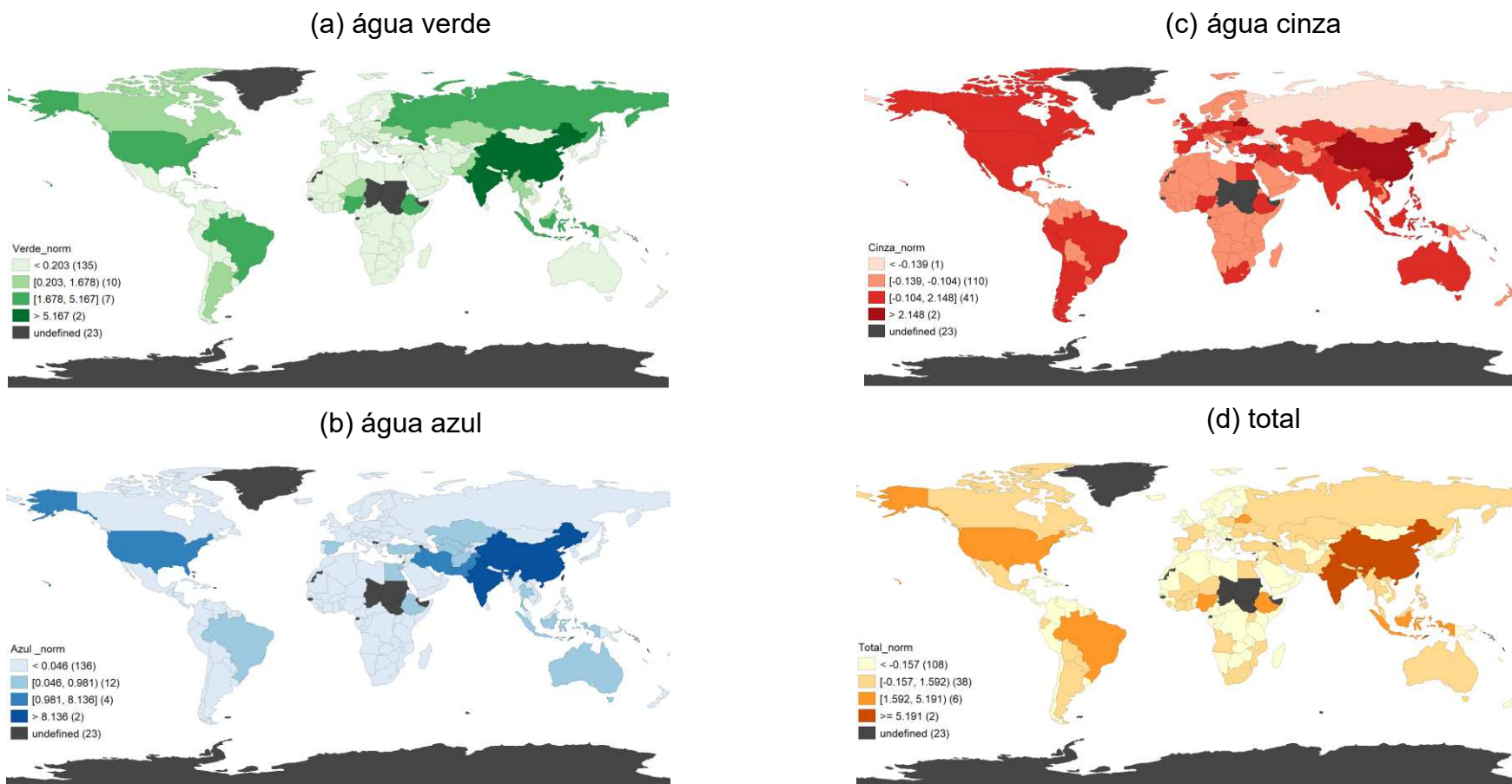
Na Espanha, os resultados obtidos também revelam uma dinâmica semelhante à identificada por Cazarro et al. (2013). Houve uma redução de 12.740 Bm<sup>3</sup> na pegada hídrica atribuída ao efeito tecnologia, enquanto os efeitos intensidade e demanda final resultaram em aumentos de 66.591 Bm<sup>3</sup> e 71.224 Bm<sup>3</sup>, respectivamente. Assim, apesar das diferenças temporais, metodológicas e nas bases de dados, os resultados obtidos através da metodologia proposta a partir dos dados do EORA, os resultados convergem para um padrão similar do comportamento da variação do consumo de água nas experiências dos países observados.

No que se refere aos tipos de água, a Geórgia e o Zimbábue apresentaram redução na pegada hídrica dos três tipos, tendência contrária à observada nas demais regiões. Outras reduções específicas observadas são: a Bulgária e Líbia, reduzindo o consumo de água verde; Itália e Rússia, reduzindo o uso de água cinza; e a Líbia, adicionalmente, com uma queda na pegada azul. No entanto, tratam-se de reduções marginais, com valores próximos a zeros, que se concentram em economias de menor escala, cujo impacto na pegada hídrica global é limitado, com exceção da Rússia que apresenta uma redução mais expressiva no volume de -473,66 Bm<sup>3</sup> na pegada hídrica cinza.

A figura 1 apresenta a variação normalizada do aumento da pegada hídrica entre os países, destacando as regiões com maior crescimento, por tipo de água e total. A figura 1a, referente a água verde, indica que os aumentos mais intensos ocorreram na China e Índia, além dos Estados Unidos, Brasil, Rússia, Indonésia e Nigéria entrando no segundo estrato. A figura 1b apresenta os dados para a água azul, evidencia crescimentos mais expressivos na China, Índia, Estados Unidos, Irã, Iraque e Afeganistão, esses três últimos localizados em uma região marcada pelo

clima árido e semiárido, onde a escassez hídrica tende a pressionar as fontes hídricas superficiais e subterrâneas.

**Figura 1** - Comparação do aumento da pegada hídrica por tipo de água entre países (1990-2015)



Fonte: O próprio autor

A figura 5c referente a pegada cinza mostra que os aumentos ocorreram de forma mais intensa na China, mas também no Norte Global, bem como na América Latina, Sudoeste Asiático, Oriente Médio e África do Sul, regiões com intensas atividades industriais ou em processo de industrialização, o que contribui para o aumento da pegada hídrica ligada à poluição. E a figura 5d apresenta que a variação da pegada hídrica total foi mais intensa na China e na Índia, bem como nos Estados Unidos, Brasil, Indonésia, Nigéria e Etiópia.

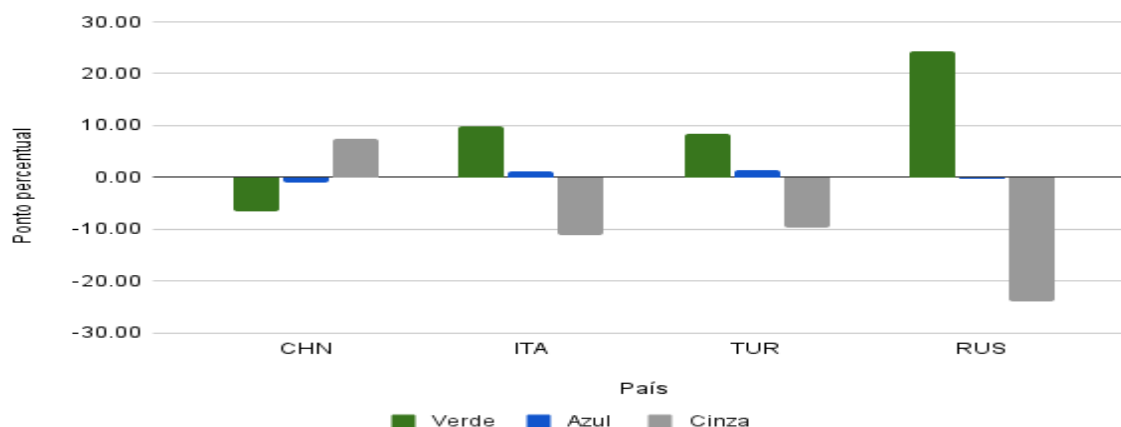
Apesar das reduções pontuais apresentadas, é importante ressaltar que o aumento da pegada hídrica é fortemente impulsionado por um grupo restrito de países com elevado poder econômico como verificado nos trabalhos de Hoekstra e Mekonnen (2012) e Arto *et al* (2016). Assim, buscamos analisar de forma mais acurada para a seleção das 40 maiores economias do mundo.

O conjunto de economias selecionadas somavam em 2015 cerca de 90% do PIB do mundo, ou seja, são responsáveis pela maior parte da produção mundial. Todavia a proporção de água consumida por este grupo apresentou variações ao longo do tempo, consumindo 77,6% do volume total da pegada hídrica da humanidade em 1990, elevando para 77,32% em 2002 e reduzindo significativamente para 67,57% em 2015. Evidenciando o papel central que estas economias apresentam na dinâmica da pegada hídrica global, apresenta-se a seguir uma análise específica para este grupo de países, a fim de compreender os principais vetores do aumento observado.

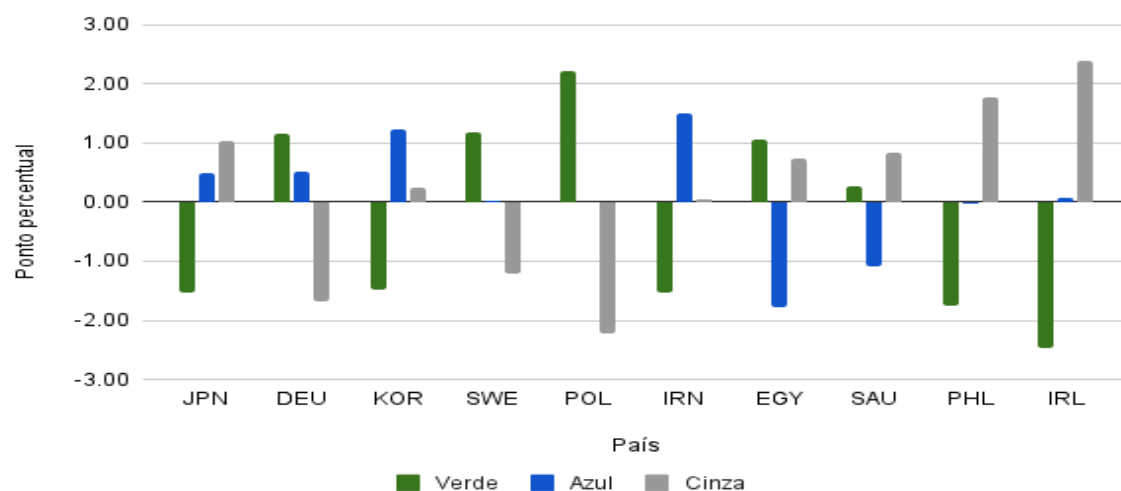
Os gráficos 5 e 6 apresentam a reconfiguração da pegada hídrica por tipo de água em 14 dos países selecionados<sup>9</sup> dos quais se destacam a China, Itália, Turquia e Rússia. Na China, percebe-se uma troca no uso da água do tipo verde pela água cinza, apresentando uma variação de 7,5% maior no consumo deste último recurso, em relação aos níveis de 1990, onde 95% da variação da pegada hídrica cinza está relacionada aos setores da agricultura, reciclagem e transporte, este resultado indica um agravamento dos impactos relacionados à poluição hídrica.

---

<sup>9</sup> Os países estão separados em três gráficos, com escalas distintas, de forma a viabilizar as análises com maior precisão, devido à grande variação dos valores obtidos. O gráfico contendo os demais 26 países pode ser verificado no apêndice C.

**Gráfico 5** - Países com maiores variações percentuais da pegada hídrica

Fonte: O próprio autor

**Gráfico 6** - Continuação: Países com maiores variações percentuais da pegada hídrica.

Fonte: O próprio autor

Por outro lado, a Itália, Turquia e Rússia, seguiram um caminho contrário, trocando majoritariamente o consumo de água cinza por água verde, sugerindo maior dependência de fontes hídricas pluviais. Na Itália 91% do aumento do aumento da água verde foi impulsionado pelos setores de agricultura, comidas e bebidas e equipamentos elétricos e máquinas ao mesmo tempo em que o setor de mineração e extração reduziu drasticamente o consumo de água cinza (-8.893,8 Bm<sup>3</sup>).

A Turquia apresenta uma situação semelhante a anterior onde verifica-se uma expressiva redução no consumo de água cinza pelo setor de mineração e extração (-5.824,30 Bm<sup>3</sup>) embora o país ainda apresenta um aumento da pegada hídrica cinza, contudo a variação da pegada verde (97%) está atrelada aos setores da agricultura, comidas e bebidas e outras indústrias de transformação. A Rússia, por sua vez,

reduziu a pegada cinza total, sobretudo em decorrência dos setores de educação, saúde e outros serviços (-629.825 Bm<sup>3</sup>) e equipamentos de transporte (-63.077 Bm<sup>3</sup>) ao passo que 94% aumento da pegada hídrica verde ocorre nos setores da agricultura, pescaria e comidas e bebidas.

Nos demais países, apesar de ocorrer está mudança na estrutura do tipo de água consumida, a mudança é bem menos significativa, com valores próximos ou menores a 1%, indicando uma estabilidade na composição da pegada hídrica.

### 4.3. Discussões

Os resultados evidenciam mudanças significativas na composição da pegada hídrica entre 1990 e 2015, ocorrendo uma redução na participação da pegada hídrica cinza, enquanto a participação das pegadas verde e azul aumenta, este fato deve ser analisado com discrição. Enquanto a redução relativa da água cinza e o aumento da pegada verde, podem ser compreendidos de forma positiva para o alívio do estresse hídrico, o aumento da fração ligada à água azul merece atenção.

O crescimento lento do consumo associado à poluição dos corpos hídricos, é um ponto positivo na preservação do meio ambiente, assim como o maior aproveitamento da água da chuva reduz a necessidade de captação de água dos corpos hídricos, permitindo que os fluxos de água disponíveis sejam utilizados para outros fins mais produtivos, inclusive o uso urbano e a manutenção do ecossistema. Contudo, a redução relativa da poluição está mais ligada ao crescimento acelerado dos demais usos da água do que melhorias nas práticas produtivas

Em relação ao uso dos recursos captados diretamente dos corpos hídricos, principal fonte para o consumo urbano e doméstico, os resultados desagregados indicam além do aumento do azul de água azul pela indústria, um aumento também por parte da agricultura. Embora o aumento da proporção de água azul consumida pela agricultura não seja a mais expressiva, dado que o setor é responsável por 82% da variação da pegada hídrica mundial o valor absoluto é relevante, o que reforça a necessidade de políticas de gestão que evitem a sobre-exploração de fontes superficiais e subterrâneas.

Outro ponto relevante é o efeito negativo associado à estrutura da demanda final no período de 1990 a 2002, o que indica que mudanças no comportamento de

consumo podem contribuir para a redução da pegada hídrica. Esse resultado confirma que transformações nos padrões de demanda podem gerar economias significativas de recursos. Contudo há a necessidade de verificar as possibilidades de conservação de água pelo setor produtivo, que pode ser alcançada por meio de mudanças na estrutura produtiva, priorizando insumos e tecnologias menos intensivos em água, sem necessariamente exigir cortes diretos na quantidade utilizada dentro de cada setor, como postulado por Marston et al. (2020) nos estudos sobre os Estados Unidos.

Com relação à redução da pegada hídrica observada no efeito, a estrutura da demanda final está fortemente associada às transformações no setor agrícola. Embora os resultados não permitam comprovar essa relação de maneira direta, é plausível supor que tal comportamento reflita mudanças nos padrões alimentares, especialmente na redução do consumo de alimentos com elevada intensidade hídrica. Essa hipótese encontra respaldo em Adeyi et al. (2025), que defende a formulação de políticas e estratégias adaptadas a cada contexto regional, voltadas à promoção de práticas de consumo alimentar sustentáveis como instrumento para a conservação dos recursos hídricos.

Além disso, é importante considerar a observação de Postel et al. (1996) de que os aumentos no uso da água verde tendem a ser marginais, uma vez que essa forma de recurso é utilizada predominantemente na agricultura. Segundo a autora, como a maior parte das terras agricultáveis já se encontra em uso, o potencial de expansão da água verde é limitado: ganhos de eficiência nesse tipo de captação dificilmente resultam em um aumento expressivo da produção agrícola, pois o fator terra permanece constante. Assim, embora o crescimento da participação da água verde na pegada hídrica possa ser interpretado como positivo do ponto de vista ambiental, ele não necessariamente se traduz em maior disponibilidade de alimentos ou em uma melhora nos índices de estresse hídrico.

No entanto, deve-se destacar que o problema global da segurança alimentar não decorre essencialmente da falta de produção, mas sim de questões relacionadas à distribuição desigual e ao desperdício de alimentos. Diversos estudos indicam que a produção atual já seria suficiente para eliminar a fome mundial, caso houvesse melhor gestão dos estoques, das perdas na cadeia produtiva e do acesso aos alimentos. A melhoria desses aspectos, por si só, contribuiria para reduzir a pegada hídrica global, ao otimizar o uso da água incorporada nos bens agrícolas. Além disso, os avanços biotecnológicos que ampliam a capacidade das plantas de reter água no

solo e resistir à seca também se configuram como um caminho promissor. Tais inovações reduzem a necessidade de irrigação, diminuindo a pressão sobre as fontes de água azul e permitindo a realocação desse recurso para atividades de maior produtividade econômica ou para o abastecimento urbano em contextos de escassez.

Adicionalmente, existem alternativas que podem ampliar a captação de água verde, como o aproveitamento das chuvas por meio da construção de reservatórios e sistemas de armazenamento voltados ao uso em períodos de seca. Essa estratégia, se bem planejada, pode reduzir a dependência da água azul e fortalecer a resiliência hídrica de regiões sujeitas à variabilidade climática. Contudo, esse tipo de uso deve ser analisado com cautela, uma vez que o escoamento natural das águas pluviais desempenha papel essencial na reposição das bacias hidrográficas e aquíferos subterrâneos. Embora a humanidade atualmente se aproprie de uma parcela relativamente pequena da água que circula no ciclo hidrológico, qualquer ampliação desse uso deve considerar os limites ecológicos do sistema, para que a busca por segurança hídrica não comprometa os processos naturais de renovação dos recursos e o equilíbrio dos ecossistemas. Por fim, os casos estudados de Hong Kong e Japão evidenciam a importância de ampliar o escopo de pesquisa para além das pegadas hídricas verde, azul e cinza e incorporar fontes alternativas de água, como são utilizados nessas regiões para contornar a falta de recursos. A utilização de água salgada e o tratamento de água para reutilização em certos setores produtivos aumentam a eficiência do uso de água reduzindo a necessidade de captação do recurso e a dependência do ciclo hidrológico.

## 5. CONCLUSÃO

O estudo realizou a decomposição estrutural da pegada hídrica do mundo entre os anos de 1990 e 2015, a partir dos dados da matriz de insumo-produto da EORA desagregado em três tipos: azul, cinza e verde, ampliando o campo de pesquisa até então concentrado principalmente em análises regionais ou tipos de pegada hídrica específicos. Essa abordagem permitiu uma avaliação detalhada dos fatores que impulsionam o consumo de água no mundo. Os resultados indicam que o consumo de água global aumentou em todos os tipos de pegada hídrica, impulsionado principalmente pelo nível de atividade econômica e intensidade do uso de recursos hídricos na produção e ao longo da cadeia produtiva, contudo o padrão de consumo contribuiu para a economia de água.

Apesar da tendência de aumento global, houveram efeitos negativos pontuais de redução da pegada hídrica, mas localizado em economias menores, cujo impacto é limitado, visto que 40 países são responsáveis por 67% da variação total da pegada hídrica do mundo. Entre os setores, a agricultura permanece como o principal impulsionador do aumento da pegada, corroborando com os resultados obtidos em estudos regionais. No entanto, é evidente a relevância do consumo de água verde na composição da pegada hídrica, confirmando seu papel central no uso sustentável dos recursos naturais.

Contudo, ressaltamos que os dados referentes ao total de água consumida são limitados, não apresentando os valores para todos os países de forma que a mensuração da pegada hídrica global pode ser subestimada em decorrência da falta de dados. O método aplicado se mostra consistente e coerente com a literatura explorada. Indicando que o aprimoramento da qualidade e da cobertura dos dados são necessários para que se possa obter resultados mais precisos, mas as análises a nível nacional são mais consistentes visto que o método analisa a variação da pegada hídrica da produção do país.

Considerando o método aplicado para realizar a deflação dos valores da matriz de insumo-produto optou-se por aplicar um deflator único, método aplicado em outros estudos de decomposição estrutural e compatível com a estrutura de dados do EORA, o qual apresenta as MIPs em dólares correntes apenas. Essa escolha assegura a comparação intertemporal dos resultados, mesmo que desconsidere as diferenças setoriais nos preços.

Além disso, observa-se que as mudanças nos padrões de consumo final reduziram a pegada hídrica mundial, cujo resultado pode estar atrelado aos efeitos das medidas de governança e políticas de uso eficiente da água. No entanto, o crescimento econômico ligado ao efeito volume da demanda total impulsionou o consumo de água de forma expressiva, mas resultados a favor da economia de água podem ser obtidos expandindo esta estratégia para o setor produtivo, onde se concentra a maior parte do consumo de recursos hídricos. Esse avanço pode ser obtido a partir de incentivos que facilitem e estimulem a mudança produtiva em direção ao uso de recursos menos intensivos em água. Este processo se mostra factível a partir da leitura dos resultados obtidos no estudo do caso norte americano, reforçando a viabilidade de medidas estruturais do tipo a fim de promover um desenvolvimento mais sustentável. Contudo, estudos futuros mais aprofundados precisam averiguar a aplicabilidade dessa conclusão em escala global.

Por fim, destaca-se que a partir das experiências e evidências empíricas apontadas pelos trabalhos analisados como o consumo de água é afetado por diversos aspectos econômicos, políticos e comportamentais. Portanto, compreender os fatores que afetam o consumo mundial da água e a forma como este recurso é transacionado entre setores e países são de fundamental relevância para o debate acerca da governança dos recursos hídricos, contribuindo para a formulação de políticas públicas que conciliem crescimento econômico e sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, as evidências apresentadas reforçam a importância de um olhar global e integrado sobre o uso da água, condição indispensável para garantir tanto a continuidade dos processos produtivos quanto o direito humano à água.

## REFERÊNCIAS

- ACHRAF, A. et al. Sectoral Water Footprint Dynamics: An Input-Output Structural Decomposition Analysis for Morocco. **E3S Web of Conferences**, v. 234, p. 00041, 2021.
- ADEYI, Q. et al. Spatio-temporal Dynamics of Water Footprints of Food Consumption in South Korea: A Decomposition Analysis. **Environmental Management**, v. 75, p. 2348–2364, 2025.
- ALI, Y. et al. Carbon and water footprint accounts of Italy: A Multi-Region Input-Output approach. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 81, p. 1813-1824, 2018.
- ALLAN, J. A. Virtual Water – Part Of An Invisible Synergy That Ameliorates Water Scarcity. *In: **Water Crisis: Myth Or Reality?*** Balkema - proceedings and monographs in engineering, water and earth sciences. London: Taylor & Francis, 2006. p. 131–150.
- ALLAN, T. Fortunately There Are Substitutes for Water: Otherwise Our Hydropolitical Futures Would Be Impossible. *In: **Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Management: Natural Resources and Engineering Advisers Conference, Southampton, July 1992.*** London: Overseas Development Administration, 1993. p. 13–26.
- ARMANDO, N. H.; OLIVEIRA VALADÃO, M. A. A Domínia Privada Dos Recursos Hídricos Em Face Do Desenvolvimento Sustentável. **Prisma Jurídico**, v. 14, n. 1, p. 153–186, 2016.
- ARTO, I. et al. Global Use of Water Resources: A Multiregional Analysis of Water Use, Water Footprint and Water Trade Balance. **Water Resources and Economics**. v. 15, p. 1-14, 2016.
- BOGRA, S. et al. A Water-Withdrawal Input-Output Model of the Indian Economy. **Environmental Science and Technology**, v. 50, p. 1313-1321, 2016.
- BOGRA, S; BAKSHI, B. R. Direct and indirect vulnerability of economic sectors to water scarcity. **Journal of Industrial Ecology**, v. 24, p. 1323-1337, 2020.
- CARETTA, M. A.; MUKHERJI, A. Water. *In: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*** 1. ed. \textit{[S.l.]}: Cambridge University Press, 2023. p. 551–712.
- CARRASCAL INCERA, A. et al. Gray Water And Environmental Externalities: International Patterns Of Water Pollution Through A Structural Decomposition Analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 165, p. 1174–1187, 2017.

- CAZCARRO, I. et al. Economic Growth And The Evolution Of Water Consumption In Spain: A Structural Decomposition Analysis. **Ecological Economics**, v. 96, p. 51–61, 2013.
- DIETZENBACHER, E.; LOS, B. Structural Decomposition Techniques: Sense and Sensitivity. **Economic Systems Research**, v. 10, n. 4, p. 307–324, 1998.
- DIMAS, A. et al. Water footprint and sustainable development goals: A bibliometric, semantic, and thematic analysis in economic-administrative sciences. **Cleaner Environmental Systems**, v. 18, p. 100316, 2025.
- HOEKSTRA, A. Y. **Virtual water trade : Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade**. The Netherlands: IHE Delft, 2003.
- HOEKSTRA, A. Y. et al. **Water footprint manual: state of the art 2009**. 1. ed. The Netherlands: Water Footprint Networks, 2009.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. Water Footprints Of Nations: Water Use By People As A Function Of Their Consumption Pattern. **Water Resources Management**, v. 21, n. 1, p. 35–48, 2006.
- HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual Water Trade A Quantification Of Virtual Water Flows Between Nations In Relation To International Crop Trade**: Research Report Series. Delft, The Netherlands: IHE Delft, 2002.
- HOEKSTRA, A. Y. et al. **The Water Footprint Assessment Manual: Setting The Global Standard**. London Washington, D.C: Earthscan from Routledge, 2011.
- HOEKSTRA, A. Y. A Critique On The Water-Scarcity Weighted Water Footprint In LCA. **Ecological Indicators**, v. 66, p. 564–573, 2016.
- HOEKSTRA, A. Y.; MEKONNEN, M. M. The Water Footprint Of Humanity. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 9, p. 3232–3237, 2012.
- HOEKSTRA, R.; VAN DEN BERGH, J. C. J. M. Comparing Structural Decomposition Analysis And Index. **Energy Economics**, v. 25, n. 1, p. 39–64, 2003.
- HOU, S. et al. Blue and Green Water Footprint Assessment for China — a Multi-Region Input–Output Approach. **Sustainability**, v. 10, n. 8, p. 2822, 2018.
- KRUGMAN, P. R. et al. Recursos E Comércio: O Modelo De Heckscher-Ohlin. *In*: **Economia Internacional**. [S.l.]: Pearson Education, 2023.
- LAN, J. et al. A Structural Decomposition Analysis of Global Energy

Footprints. **Applied Energy**, v. 163, p. 436–451, 2016.

LENZEN, M. et al. Building Eora: A Global Multi-Region Input–Output Database at High Country and Sector Resolution. **Economic Systems Research**, v. 25, n. 1, p. 20–49, 2013a.

LENZEN, M. et al. International Trade Of Scarce Water. **Ecological Economics**, v. 94, p. 78–85, 2013b.

LEONTIEF, W. W. Quantitative Input and Output Relations in the Economic Systems of the United States. **The Review of Economics and Statistics**, v. 18, n. 3, p. 105, 1936.

LIU, F. et al. National water footprints and embodied environmental consequences of major economic sectors-a case study of Japan. **Structural Change and Economic Dynamics**, v. 60, p. 30-46, 2022.

MA, W. et al. Past, Present, and Future of Virtual Water and Water Footprint. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3068, 2020.

MARSTON, L. et al. High-Resolution Water Footprints of Production of the United States. **Water Resources Research**, v. 54, p. 2288-2316, 2018.

MEKONNEN, M. M.; GERBENS-LEENES, W. The Water Footprint of Global Food Production. **Water**, v. 12, n. 10, p. 2696, 2020.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-Output Analysis: Foundations And Extensions**. Second Edition, 4th printing ed. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2013.

MONTOYA, M. A. A Pegada Hídrica Da Economia Brasileira e a Balança Comercial de Água Virtual: Uma Análise Insumo-Produto. **Economia Aplicada**, v. 24, n. 2, p. 215–248, 2020.

MORRISON, J. et al. (ORGS.). **Global Water Governance In The 21st Century**. Oakland/Cal: Pacific Institute, 2013.

MUBAKO, S. T. Blue, Green, and Grey Water Quantification Approaches: A Bibliometric and Literature Review. **Journal of Contemporary Water Research & Education**, v. 165, n. 1, p. 4–19, 2018.

NASPOLINI, G. F. et al. Brazilian Environmental-Economic Accounting for Water: A Structural Decomposition Analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 265, p. 110508, 2020.

OECD (ORG.). **Sustainable Management of Water Resources in Agriculture**. Paris: OECD Publishing, 2010.

PLANK, B. et al. International Trade Drives Global Resource Use: A Structural Decomposition Analysis of Raw Material Consumption from 1990–

2010. **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 7, p. 4190–4198, 2018.

POSTEL, S. L. et al. Human Appropriation of Renewable Fresh Water. **Science**, v. 271, n. 5250, p. 785-788, 1996.

ROGERS, P. P. (ORG.). Water Governance, Water Security And Water Sustainability. *In: Water Crisis: Myth Or Reality?* Balkema - proceedings and monographs in engineering, water and earth sciences. London: Taylor & Francis, 2006. p. 3–36.

SESSO FILHO, U. A. et al. Fluxos De Água Virtual Do Comércio Internacional Do Brasil. *In: XXVII ENCONTRO DE ECONOMIA DA REGIÃO SUL. Anais...* Maringá: ANPEC, 2024a.

SESSO FILHO, U. A. et al. Produto Interno Bruto e Pegada Hídrica do Agronegócio: Comparativo entre Países. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 4, p. e274229, 2024b.

SESSO FILHO, U. A. et al. Gross Domestic Product and Water Footprint of Agribusiness: Comparative Between Countries. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 62, n. 4, p. e274229, 2024c.

SHAPIRO, J. S.; WALKER, R. Why is Pollution from U.S. Manufacturing Declining? The Roles of Environmental Regulation, Productivity, and Trade. **American Economic Review**, v. 108, n. 12, p. 3814-3854, 2018

SHIKLOMANOV, I. A. Appraisal and Assessment of World Water Resources. **Water International**, v. 25, n. 1, p. 11-32, 2000.

SHIKLOMANOV, I. A.; SOKOLOV, A. A. Methodological basis of world water balance investigation and computation. *In: New Approaches in Water Balance Computations*. Proceedings of the Hamburg Symposium. International Association for Hydrological Sciences. Publication No. 148, 1983

SOMLYÓDY, L.; VARIS, O. Freshwater under Pressure. **International Review for Environmental Strategies**, v. 6, n. 2, p. 181–204, 2006.

SU, B.; ANG, B. W. Structural Decomposition Analysis Applied to Energy and Emissions: Some Methodological Developments. **Energy Economics**, v. 34, n. 1, p. 177–188, 2012.

SUN, Y. et al. A bibliometrics review of hotspots in water footprint research based on co-words network analysis. **Frontiers in Environmental Science**, v. 10, p. 1027936, 2022.

SUN, W. et al. Bridging environmentally extended input-output models and complex network analysis: A bibliometric analysis of trends and opportunities. **Journal of Cleaner Production**, v. 486, p. 144427, 2025.

TIAN, X. et al. Evolution of China's water footprint and virtual water trade: A global trade assessment. **Environment International**, v. 121, p. 178-188, 2018.

UN WATER (ORG.). **Water and climate change**. Paris: UNESCO, 2020.

VANHAM, D.; BIDOGLIO, G. A review on the indicator water footprint for the EU28. **Ecological Indicators**, v. 26, p. 61-75, 2013.

WANG, X. et al. An Input–Output Structural Decomposition Analysis of Changes in Sectoral Water Footprint in China. **Ecological Indicators**, v. 69, p. 26–34, 2016.

WICHELNS, D. The Role of 'Virtual Water' in Efforts to Achieve Food Security and Other National Goals, with an Example from Egypt. **Agricultural Water Management**, v. 49, n. 2, p. 131–151, 2001.

WHITE, D. J. et al. The Water-Energy-Food Nexus in East Asia: A tele-connected value chain analysis using inter-regional input-output analysis. **Applied Energy**, v. 210, p. 550-567, 2018.

YU, Y. et al. Assessing regional and global water footprints for the UK. **Ecological Economics**, v. 69, p. 1140-1147, 2010.

ZHANG, Y. et al. Mapping of Water Footprint Research: A Bibliometric Analysis During 2006–2015. **Journal of Cleaner Production**, v. 149, p. 70–79, 2017.

ZHANG, Z. et al. Understanding Beijing's Water Challenge: A Decomposition Analysis of Changes in Beijing's Water Footprint between 1997 and 2007. **Environmental Science & Technology**, v. 46, n. 22, p. 12373–12380, 2012.

ZHU, Y. et al. A Bibliometrics Review of Water Footprint Research in China: 2003–2018. **Sustainability**, v. 11, n. 18, p. 5082, 2019.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Mudança na matriz de insumos

Mudanças na matriz inversa de Leontief está relacionada a mudanças na matriz de insumo diretos. Dado que:

$$L_1 = (I - A_1)^{-1} \quad (\text{A.0.1})$$

pós multiplicando por  $(I - A_1)$  e rearranjando equação A.0.1

$$L_1(I - A_1) = I = L_1 - L_1A_1 \quad (\text{A.0.2})$$

e pós multiplicando por  $L_0$

$$L_1L_0 - L_1A_1L_0 = L_0 \quad (\text{A.0.3})$$

De forma similar para a equação A.0.4

$$L_0 = (I - A_0)^{-1} \quad (\text{A.0.4})$$

Ao pré multiplicar por  $(I - A_0)$  em seguida pré multiplicar por  $L_1$ , temos:

$$L_0(I - A_0) = I = L_0 - L_0A_0 \quad (\text{A.0.5})$$

$$L_1L_0 - L_1A_0L_0 = L_1 \quad (\text{A.0.6})$$

Finalmente subtraindo a equação A.0.6 da equação A.0.3

$$\Delta L = L_1 - L_0 = L_1A_1L_0 - L_1A_0L_0 = L_1(\Delta A)L_0 \quad (\text{A.0.7})$$

## APÊNDICE B - Setores e países

**Quadro 1 - Setores Econômicos**

Código	Sigla	Setores
1	AGR	Agricultura
2	FIS	Pesca
3	MIN	Mineração e Extração
4	FBT	Alimentos e Bebidas
5	TEX	Têxteis e Vestuário
6	PPP	Madeira e Papel
7	CHM	Produtos de Petróleo, Químicos e Minerais Não-Metálicos
8	MET	Produtos de Metal
9	MEQ	Equipamentos Elétricos e Máquinas
10	TRN	Equipamentos de Transporte
11	OMF	Outras Indústrias de Transformação
12	RCP	Reciclagem
13	EGW	Eletricidade, Gás e Água
14	CON	Construção
15	RPR	Manutenção e Reparos
16	WHS	Comércio Atacadista
17	RET	Comércio Varejista
18	HTR	Hotéis e Restaurantes
19	TRP	Transporte
20	CMN	Correios e Telecomunicações
21	FIN	Intermediação Financeira e Atividades Empresariais
22	GOV	Administração Pública
23	EDU	Educação, Saúde e Outros Serviços
24	HOU	Serviços Domésticos
25	OTH	Outros
26	REX	Reexportação e Reimportação

Fonte: O próprio autor

**Quadro 2 - Países e acrônimos**

País	Sigla	País	Sigla
Afeganistão	AFG	EUA	USA
África do Sul	ZAF	Fiji	FJI
Albânia	ALB	Filipinas	PHL
Alemanha	DEU	Finlândia	FIN
Angola	AGO	França	FRA
Antígua	ATG	Gabão	GAB
Arábia Saudita	SAU	Gâmbia	GMB
Argélia	DZA	Gana	GHA
Argentina	ARG	Geórgia	GEO
Austrália	AUS	Grécia	GRC
Áustria	AUT	Guatemala	GTM
Azerbaijão	AZE	Guiana	GUY
Bahrein	BHR	Guiné	GIN
Bangladesh	BGD	Haiti	HTI
Barbados	BRB	Honduras	HND
Belarus	BLR	Hungria	HUN
Bélgica	BEL	Iêmen	YEM
Belize	BLZ	Índia	IND
Benin	BEN	Indonésia	IDN
Bolívia	BOL	Irã	IRN
Bósnia e Herzegovina	BIH	Iraque	IRQ
Botswana	BWA	Irlanda	IRL
Brasil	BRA	Islândia	ISL
Brunei	BRN	Israel	ISR
Bulgária	BGR	Itália	ITA
Burkina Faso	BFA	Jamaica	JAM
Burundi	BDI	Japão	JPN
Butão	BTN	Jordânia	JOR
Cabo Verde	CPV	Kuwait	KWT
Camarões	CMR	Laos	LAO

Camboja	KHM	Lesoto	LSO
Canadá	CAN	Letônia	LVA
Cazaquistão	KAZ	Líbano	LBN
Chile	CHL	Libéria	LBR
China	CHN	Líbia	LBY
Chipre	CYP	Lituânia	LTU
Colômbia	COL	Luxemburgo	LUX
Congo	COG	Macedônia do Norte	MKD
Coreia do Norte	PRK	Madagascar	MDG
Coreia do Sul	KOR	Malásia	MYS
Costa Rica	CRI	Malawi	MWI
Cote d'Ivoire	CIV	Maldivas	MDV
Croácia	HRV	Mali	MLI
Cuba	CUB	Malta	MLT
Dinamarca	DNK	Marrocos	MAR
EAU	ARE	Maurícia	MUS
Egito	EGY	Mauritânia	MRT
El Salvador	SLV	México	MEX
Equador	ECU	Moçambique	MOZ
Eritreia	ERI	Moldova	MDA
Eslováquia	SVK	Mongólia	MNG
Eslovênia	SVN	Myanmar	MMR
Espanha	ESP	Namíbia	NAM
Estônia	EST	Nepal	NPL
Etiópia	ETH	Nicarágua	NIC
Níger	NER	Nigéria	NGA
Noruega	NOR	Nova Caledônia	NCL
Nova Zelândia	NZL	Omã	OMN
Países Baixos	NLD	Panamá	PAN
Papua Nova Guiné	PNG	Paquistão	PAK
Paraguai	PRY	Peru	PER

Polinésia Francesa	PYF	Polônia	POL
Portugal	PRT	Qatar	QAT
Quênia	KEN	Quirguistão	KGZ
RDC	COD	Reino Unido	GBR
República Centro-Africana	CAF	República Dominicana	DOM
República Tcheca	CZE	Romênia	ROU
Ruanda	RWA	Rússia	RUS
Senegal	SEN	Sérvia	SRB
Seychelles	SYC	Serra Leoa	SLE
Singapura	SGP	Síria	SYR
Somália	SOM	Sri Lanka	LKA
Suazilândia	SWZ	Suécia	SWE
Suíça	CHE	Suriname	SUR
Tailândia	THA	Tajiquistão	TJK
Tanzânia	TZA	Togo	TGO
Trinidad e Tobago	TTO	Tunísia	TUN
Turquemenistão	TKM	Turquia	TUR
Ucrânia	UKR	Uganda	UGA
Uruguai	URY	Uzbequistão	UZB
Venezuela	VEN	Vietnã	VNM
Zâmbia	ZMB	Zimbábue	ZWE

Fonte: O próprio autor

## APÊNDICE C - Reconfiguração da pegada hídrica

**Tabela 11 - Reconfiguração da pegada hídrica dos setores (Bm<sup>3</sup>)**

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
AGR	7319	930	753	10529	309	1008	-7251	222	-288	8904	1111	945
FIS	239	11	16	104	5	13	-228	-6	-18	281	13	19
MIN	12	3	19	18	4	66	-5	0	-39	15	4	53
FBT	973	72	63	516	25	24	-418	4	6	1154	83	70
TEX	26	5	10	10	2	9	5	2	-5	30	6	12
PPP	14	3	20	3	1	7	1	0	-5	16	3	14
CHM	59	10	43	27	6	27	15	4	-6	68	12	43
MET	30	6	23	19	4	19	8	2	-7	34	6	21
MEQ	56	11	31	16	4	-4	22	6	-3	65	13	65
TRN	22	4	34	7	-5	-231	10	5	85	27	6	73
OMF	107	6	7	308	11	4	-380	-11	-7	140	8	8
RCP	34	5	236	217	17	455	-207	-10	27	43	6	264
EGW	13	3	10	10	4	13	-1	-1	-4	15	3	11
CON	0	1	11	0	3	10	0	-2	-5	0	1	13
RPR	0	0	1	0	0	4	0	0	-6	0	0	2

WHS	0	0	1	0	0	1	0	0	-3	0	0	1
RET	0	0	1	0	0	0	0	0	-2	0	0	1
HTR	0	1	9	0	1	9	0	0	-3	0	1	10
TRP	0	3	36	0	2	29	0	0	9	0	3	38
CMN	0	0	1	0	0	1	0	0	-2	0	0	1
FIN	11	2	2	15	3	1	-11	-2	-4	19	2	3
GOV	0	0	2	0	0	0	0	0	-7	0	0	2
EDU	5	-38	-718	-1	-3	-88	-1	-8	-116	4	19	335
HOU	0	0	2	0	0	5	0	0	-7	0	0	2
OTH	0	0	1	0	0	3	0	0	-4	0	0	1
REX	0	0	3	0	9	172	0	-9	-167	0	0	4

Fonte: O próprio autor

**Tabela 12 - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm³)**

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
AFG	16,47	10,52	0,20	10,10	5,95	0,12	-5,64	-4,28	-0,08	16,34	9,99	0,19
ALB	3,55	0,46	0,43	5,18	0,58	1,84	-4,35	-0,52	-1,64	4,16	0,54	0,51
DZA	27,37	4,21	0,87	4,17	0,55	0,27	-7,74	-1,19	-0,27	32,28	4,97	1,02
AGO	44,47	0,80	0,30	30,23	0,56	0,31	34,01	0,61	0,14	51,07	0,92	0,34

ATG	0,03	0,00	0,00	0,28	0,00	0,01	-0,29	0,00	-0,01	0,03	0,00	0,00
ARG	114,57	3,37	4,18	29,87	0,90	1,22	-27,72	-0,82	-1,09	120,82	3,58	4,44

**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm<sup>3</sup>) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
AUS	55,04	5,19	2,42	70,08	9,14	4,77	-39,64	-4,94	-2,50	107,11	12,99	6,68
AUT	2,23	0,16	0,25	1,55	0,06	0,23	-1,59	-0,07	-0,23	5,39	0,24	0,72
AZE	14,56	5,11	4,37	-26,31	-8,47	-3,01	40,20	13,38	8,40	16,89	5,92	5,05
BHR	0,03	0,01	0,01	0,05	0,02	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,04	0,02	0,01
BGD	69,26	8,64	10,92	-14,96	-1,85	-2,30	22,79	2,84	3,53	81,31	10,15	12,83
BRB	0,10	0,00	0,03	0,34	0,01	0,14	-0,42	-0,01	-0,15	0,12	0,00	0,03
BLR	396,36	3,25	85,55	4678,91	37,32	1006,77	-3728,52	-29,64	-802,62	451,46	3,70	97,06
BEL	2,22	0,40	0,87	0,18	0,06	0,14	-0,51	-0,09	-0,28	2,79	0,50	0,99
BLZ	0,52	0,01	0,11	3,84	0,08	1,24	-3,76	-0,08	-1,21	0,61	0,01	0,13
BEN	17,46	0,05	0,13	51,93	0,14	0,49	-51,20	-0,13	-0,47	20,54	0,05	0,15
BTN	2,02	0,10	0,01	13,81	0,70	0,18	-14,24	-0,72	-0,17	2,39	0,12	0,02
BOL	31,13	0,56	0,15	48,90	0,90	0,25	-27,94	-0,52	-0,15	33,86	0,61	0,17
BIH	7,50	0,12	0,42	25,27	0,38	1,42	-21,04	-0,34	-1,17	8,76	0,14	0,49
BWA	1,82	0,03	0,03	1,04	0,03	0,08	-1,08	-0,02	-0,07	2,14	0,04	0,04
BRA	594,43	17,30	33,26	-101,81	-2,88	-3,96	248,42	7,23	13,95	629,86	18,25	33,85

BRN	0,12	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00	-0,23	0,00	0,00	0,15	0,00	0,00
BGR	35,18	0,83	7,80	-54,72	-0,67	-6,29	-25,91	-0,70	-7,57	42,84	1,01	9,43
BFA	53,85	0,48	0,59	187,31	1,48	2,13	-178,82	-1,44	-2,03	62,98	0,56	0,70

**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm³) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
BDI	23,25	0,39	0,05	177,58	2,94	0,35	-179,07	-2,97	-0,38	27,39	0,46	0,06
KHM	17,65	1,13	0,09	41,59	2,67	0,27	-21,84	-1,41	-0,16	20,43	1,31	0,10
CMR	32,08	0,28	0,28	21,00	0,20	0,25	-29,28	-0,28	-0,33	37,91	0,33	0,33
CAN	115,16	3,33	24,11	-3,49	0,13	0,13	-3,86	-0,06	-0,57	137,85	3,81	27,83
CPV	0,37	0,02	0,00	2,14	0,11	0,01	-2,00	-0,10	0,00	0,44	0,02	0,00
CAF	9,23	0,12	0,00	37,92	0,51	0,03	-53,87	-0,72	-0,04	11,14	0,15	0,01
CHL	7,90	2,30	3,04	11,45	3,28	4,38	-1,29	-0,33	-0,47	9,66	2,80	3,71
CHN	806,78	155,44	476,31	-122,29	-17,23	171,70	1630,97	316,53	817,16	1015,65	198,27	587,57
COL	54,05	1,91	2,08	-30,32	-1,15	-1,46	8,73	0,27	0,33	37,77	1,34	1,58
COG	1,77	0,03	0,02	5,48	0,09	0,06	-5,29	-0,09	-0,06	2,08	0,04	0,02
CRI	4,15	0,27	0,57	1,16	0,08	0,34	1,20	0,07	0,05	4,84	0,31	0,67
HRV	5,49	0,06	0,92	-0,87	0,01	-0,11	-3,29	-0,03	-0,57	6,53	0,07	1,10
CUB	19,49	1,87	1,11	-15,38	-1,49	-0,38	-15,00	-1,45	-1,02	23,48	2,26	1,33
CYP	0,48	0,24	0,03	0,31	0,13	0,02	-0,27	-0,14	-0,02	0,57	0,29	0,04

CZE	11,21	0,19	2,77	6,82	0,13	1,77	0,86	0,01	0,15	13,02	0,22	3,23
CIV	53,13	0,15	0,42	6,73	0,03	0,23	-23,68	-0,09	-0,38	63,15	0,18	0,49
PRK	11,36	1,06	1,71	4,04	0,39	1,15	-24,22	-2,32	-4,72	13,73	1,29	2,08
COD	37,83	0,11	0,08	50,60	0,14	0,12	-78,59	-0,22	-0,18	45,02	0,14	0,10

**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm<sup>3</sup>) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
DNK	6,91	0,37	1,20	-1,58	-0,01	-0,28	-4,43	-0,25	-0,76	8,59	0,45	1,49
DOM	5,71	0,74	0,03	1,38	0,19	0,02	2,12	0,25	0,01	6,66	0,87	0,04
ECU	25,34	2,11	1,62	10,66	0,73	0,72	8,02	0,69	0,77	30,71	2,52	1,90
EGY	9,84	28,48	14,80	-3,77	-14,94	-5,63	8,58	25,07	12,19	11,50	33,34	17,30
SLV	3,77	0,07	0,41	2,07	0,04	0,34	-0,98	-0,02	-0,19	4,41	0,08	0,48
ERI	5,79	0,12	0,03	54,29	1,15	0,29	-51,36	-1,08	-0,28	6,76	0,14	0,03
EST	3,56	0,02	0,34	5,11	0,03	0,49	-4,90	-0,02	-0,47	4,41	0,02	0,42
ETH	572,81	14,77	3,06	4146,23	104,50	17,82	-4024,38	-104,89	-19,37	674,48	17,39	3,63
FJI	2,06	0,01	0,09	6,58	0,03	0,26	-7,08	-0,03	-0,29	2,44	0,01	0,10
FIN	4,79	0,14	0,23	-0,95	0,01	-0,03	-3,47	-0,12	-0,18	5,90	0,18	0,29
FRA	56,57	4,00	10,91	-13,73	-0,85	-2,25	-27,10	-1,92	-5,11	65,23	4,79	12,83
PYF	0,26	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	-0,72	0,00	0,00	0,31	0,00	0,00
GAB	1,93	0,02	0,02	1,75	0,02	0,03	-0,74	-0,01	-0,02	2,25	0,02	0,02

GMB	2,23	0,01	0,02	10,09	0,06	0,12	-12,26	-0,07	-0,14	2,66	0,02	0,03
GEO	16,33	1,31	2,48	46,37	3,71	8,06	-81,12	-6,51	-13,22	15,65	1,20	2,57
DEU	32,63	2,16	9,58	3,50	0,24	-0,21	-26,87	-1,40	-8,30	40,43	2,82	12,08
GHA	50,11	0,11	0,29	59,26	0,13	0,44	-19,11	-0,06	-0,26	58,30	0,13	0,33
GRC	8,75	2,91	0,79	1,25	0,41	0,11	-3,02	-1,01	-0,28	10,79	3,59	0,99

**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm<sup>3</sup>) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
GTM	10,54	0,29	0,74	7,06	0,19	0,57	2,99	0,09	0,14	12,23	0,34	0,86
GIN	19,11	0,08	0,05	40,68	0,18	0,15	-60,62	-0,26	-0,19	22,85	0,10	0,05
GUY	1,16	0,18	0,08	0,35	0,05	0,02	-0,18	-0,03	-0,01	1,36	0,21	0,09
HTI	7,80	0,25	0,01	19,50	0,62	0,03	-20,32	-0,65	-0,03	9,19	0,29	0,01
HND	6,79	0,15	0,48	6,74	0,15	0,52	-1,77	-0,04	-0,17	7,91	0,18	0,55
HUN	20,99	0,45	3,82	9,73	0,29	2,10	-1,13	-0,06	-0,76	25,05	0,55	4,73
ISL	0,13	0,01	0,03	0,11	0,01	0,07	-0,14	-0,01	-0,08	0,15	0,01	0,03
IND	746,56	233,48	116,46	144,40	42,65	31,41	426,96	132,08	71,00	921,87	288,08	148,97
IDN	347,93	14,31	25,10	85,21	3,52	6,36	356,55	14,56	25,98	453,99	18,56	33,08
IRN	97,57	74,65	17,55	33,05	23,84	6,10	6,75	4,48	1,05	81,89	58,86	14,41
IRQ	24,99	34,41	16,92	-9,51	-14,29	2,51	24,61	34,31	12,47	29,14	40,05	19,65
IRL	2,88	0,18	0,59	1,08	0,07	0,24	0,48	0,02	-0,11	3,27	0,19	0,44

ISR	1,62	0,70	0,29	1,70	0,85	0,34	-0,90	-0,56	-0,22	1,83	0,75	0,30
ITA	36,74	4,42	-3,68	-9,88	-1,18	-3,06	-27,99	-3,39	-6,87	46,60	5,68	12,03
JAM	1,26	0,04	0,06	0,44	0,02	0,04	-0,95	-0,03	-0,06	1,49	0,05	0,07
JPN	8,28	1,33	3,65	-3,92	-0,57	-1,81	-16,10	-2,30	-5,24	14,10	2,10	4,63
JOR	0,89	0,49	0,08	0,03	-0,05	0,01	0,59	0,36	0,05	1,04	0,57	0,10
KAZ	136,98	20,97	17,62	38,61	5,71	12,00	79,87	12,26	-4,30	158,05	24,20	9,84

**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm³) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
KEN	28,20	0,49	0,40	20,22	0,32	0,33	-9,18	-0,13	-0,16	33,93	0,58	0,49
KWT	0,10	0,06	0,04	0,12	0,05	0,05	-0,03	-0,01	-0,01	0,12	0,07	0,05
KGZ	13,66	8,31	0,73	36,37	20,56	2,65	-47,30	-27,06	-3,33	15,16	9,05	0,93
LAO	10,61	0,84	0,21	24,56	1,96	1,04	-12,32	-0,99	-0,78	12,28	0,97	0,25
LVA	4,97	0,03	0,57	5,72	0,06	0,80	-5,76	-0,05	-0,79	5,59	0,03	0,63
LBN	1,71	0,54	0,14	1,52	0,51	0,16	1,01	0,28	0,04	1,96	0,63	0,16
LSO	2,60	0,02	0,02	9,13	0,10	0,13	-10,28	-0,10	-0,13	3,08	0,03	0,02
LBR	3,46	0,01	0,02	24,65	0,07	0,53	-19,81	-0,06	-0,51	3,99	0,01	0,02
LBY	1,26	0,98	0,16	-0,11	-0,08	-0,01	-2,75	-2,16	-0,33	1,53	1,19	0,19
LTU	11,92	0,07	0,24	13,09	0,06	0,29	-12,33	-0,05	-0,27	13,74	0,07	0,29
LUX	0,16	0,01	0,03	0,13	0,02	0,04	-0,23	-0,02	-0,06	0,19	0,01	0,04

MDG	13,94	1,59	0,21	14,51	1,59	0,78	-11,91	-1,29	-0,73	16,36	1,87	0,25
MWI	14,08	0,43	0,83	22,33	0,70	1,45	-26,45	-0,83	-1,70	16,65	0,51	0,98
MYS	15,58	0,38	1,80	24,41	0,51	2,06	89,93	1,57	4,35	97,35	1,77	5,42
MDV	0,07	0,00	0,00	0,60	0,02	0,03	-0,54	-0,02	-0,02	0,09	0,00	0,00
MLI	36,58	2,40	0,07	113,17	7,46	0,37	-104,26	-6,88	-0,35	42,90	2,81	0,09
MLT	0,03	0,01	0,00	0,07	0,02	0,01	-0,06	-0,02	-0,01	0,03	0,01	0,00
MRT	5,48	0,37	0,08	19,26	1,26	0,62	-18,36	-1,21	-0,58	6,43	0,43	0,10

**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm³) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
MUS	0,50	0,02	0,01	1,60	0,06	0,06	-1,64	-0,06	-0,05	0,76	0,03	0,02
MEX	64,07	8,88	8,26	5,34	0,70	0,86	11,24	1,52	1,49	74,09	10,24	9,53
MNG	20,49	0,54	0,35	68,15	1,75	1,33	-56,21	-1,43	-1,08	23,91	0,63	0,40
MAR	31,82	5,70	1,57	-2,37	-0,67	-0,16	-4,71	-0,85	-0,25	37,58	6,73	1,85
MOZ	35,80	0,30	0,21	60,28	0,52	0,38	-54,00	-0,46	-0,34	42,03	0,36	0,25
MMR	210,78	7,24	3,77	-366,25	-11,80	-5,51	217,65	7,26	3,44	250,59	8,60	4,47
NAM	2,87	0,08	0,04	6,18	0,16	0,08	-5,02	-0,13	-0,07	3,36	0,09	0,04
NPL	26,23	3,94	0,56	10,12	1,46	0,24	9,60	1,49	0,18	30,52	4,59	0,65
NLD	3,24	0,56	0,57	0,35	0,08	0,05	-0,62	-0,11	-0,11	3,91	0,68	0,67

NCL	0,13	0,00	0,01	0,48	0,01	0,03	-0,43	-0,01	-0,02	0,16	0,00	0,01
NZL	13,44	1,11	0,32	17,89	1,45	0,41	-10,31	-0,92	-0,27	16,12	1,27	0,35
NIC	6,15	0,22	0,17	3,46	0,14	0,13	-5,24	-0,20	-0,17	7,27	0,26	0,20
NER	159,77	1,99	0,14	334,03	4,19	0,32	-352,25	-4,42	-0,34	188,15	2,35	0,17
NGA	459,77	3,54	2,71	39,21	0,35	0,59	446,24	3,43	2,37	534,23	4,10	3,14
NOR	1,90	0,10	0,29	0,19	0,01	0,03	-0,33	-0,02	-0,05	2,29	0,12	0,35
OMN	0,64	0,72	0,06	0,51	0,26	0,04	0,19	0,21	0,01	0,74	0,84	0,07
PAK	78,86	82,12	27,09	24,72	30,71	10,35	35,75	36,78	11,51	91,53	95,47	31,50
PAN	2,30	0,08	0,15	2,13	0,07	0,15	-0,56	-0,02	-0,05	2,68	0,09	0,17

**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm<sup>3</sup>) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
PNG	9,23	0,05	0,09	9,57	0,05	0,09	-8,71	-0,04	-0,08	10,85	0,06	0,10
PRY	39,34	0,39	0,68	46,96	0,39	0,83	-4,07	0,00	-0,08	43,33	0,41	0,75
PER	15,71	3,83	2,01	4,47	1,03	0,59	10,30	2,56	1,32	17,91	4,36	2,29
PHL	67,75	2,35	10,00	12,03	0,71	18,94	87,85	2,82	-7,43	119,86	4,16	13,08
POL	36,28	0,89	5,87	7,86	0,40	2,04	33,87	0,66	7,12	41,85	1,06	8,79
PRT	6,83	1,57	0,66	0,76	0,19	0,12	-0,86	-0,21	-0,13	8,13	1,86	0,73
QAT	0,11	0,06	0,02	0,09	0,04	0,02	0,11	0,05	0,01	0,13	0,07	0,02

KOR	9,53	1,20	1,53	-0,93	0,03	-0,28	2,25	0,24	0,22	12,59	1,35	1,61
MDA	38,49	3,11	2,76	1181,91	92,45	79,74	-1104,35	-86,24	-74,94	44,18	3,56	3,18
ROU	56,00	2,18	15,44	14,94	5,04	203,73	23,16	-3,50	-191,22	65,42	2,42	14,14
RUS	1059,72	2,83	-587,78	-1082,87	-49,02	-364,39	-117,51	-7,55	-37,62	1321,93	70,17	516,14
RWA	18,28	0,05	0,02	44,42	0,13	0,10	-48,32	-0,13	-0,10	21,59	0,06	0,03
SAU	2,45	7,96	1,63	-1,53	-5,56	-0,83	1,36	4,59	0,85	2,88	9,39	1,91
SEN	14,66	0,59	0,14	15,22	0,61	0,26	-16,22	-0,66	-0,26	17,27	0,70	0,17
SRB	30,65	2,17	33,32	64,14	13,75	244,81	-110,69	-16,37	-282,84	36,90	2,60	39,91
SYC	0,07	0,01	0,00	0,49	0,04	0,06	-0,45	-0,04	-0,06	0,08	0,01	0,00
SLE	29,84	0,29	0,02	222,10	2,19	0,18	-193,29	-1,91	-0,16	34,76	0,34	0,02
SGP	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00

**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm<sup>3</sup>) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
SVK	7,56	0,30	1,88	6,50	0,32	2,65	-6,25	-0,30	-2,64	8,72	0,35	1,47
SVN	0,88	0,05	0,43	0,65	0,05	0,61	-0,81	-0,05	-0,76	1,11	0,07	0,75
SOM	4,40	1,03	0,00	13,97	3,13	0,01	-21,64	-4,88	-0,01	5,32	1,24	0,00
ZAF	42,49	6,23	3,19	9,88	1,43	0,78	-2,54	-0,34	-0,21	50,53	7,39	3,78
ESP	47,02	12,59	6,99	-8,61	-2,45	-1,68	-5,99	-1,64	-0,94	56,49	15,07	8,23

LKA	16,05	1,80	1,47	13,02	1,47	1,33	1,89	0,21	0,11	18,62	2,09	1,70
SUR	0,63	0,17	0,09	4,13	1,10	0,75	-3,73	-1,00	-0,69	0,74	0,20	0,10
SWZ	1,23	0,35	0,01	7,90	2,28	0,08	-8,16	-2,37	-0,08	1,45	0,41	0,01
SWE	7,05	0,14	1,04	-1,48	-0,03	-0,27	-5,12	-0,10	-0,92	8,62	0,21	1,54
CHE	2,19	0,15	0,41	0,30	0,04	0,04	0,27	0,00	0,06	2,65	0,18	0,50
SYR	31,20	11,72	4,66	-36,98	-15,70	-5,35	-2,91	-0,64	-0,55	37,43	14,09	5,59
TJK	14,47	7,84	1,75	31,66	13,95	6,69	-23,23	-9,48	-5,84	16,88	9,16	2,04
THA	138,48	20,97	8,68	63,46	9,56	6,93	29,26	4,36	2,80	151,03	22,86	12,97
MKD	1,32	0,12	0,65	3,02	0,34	2,20	-1,85	-0,23	-1,92	1,79	0,17	0,47
TGO	13,21	0,04	0,11	59,61	0,20	0,53	-57,71	-0,19	-0,51	15,51	0,05	0,13
TTO	0,26	0,01	0,05	0,33	0,02	0,11	-0,17	-0,01	-0,05	0,30	0,01	0,06
TUN	14,27	1,18	0,42	-1,99	-0,19	-0,04	1,35	0,12	0,02	16,81	1,39	0,49
TUR	78,75	14,70	-5,04	1,74	0,30	0,95	17,89	3,27	3,26	91,06	17,09	17,57

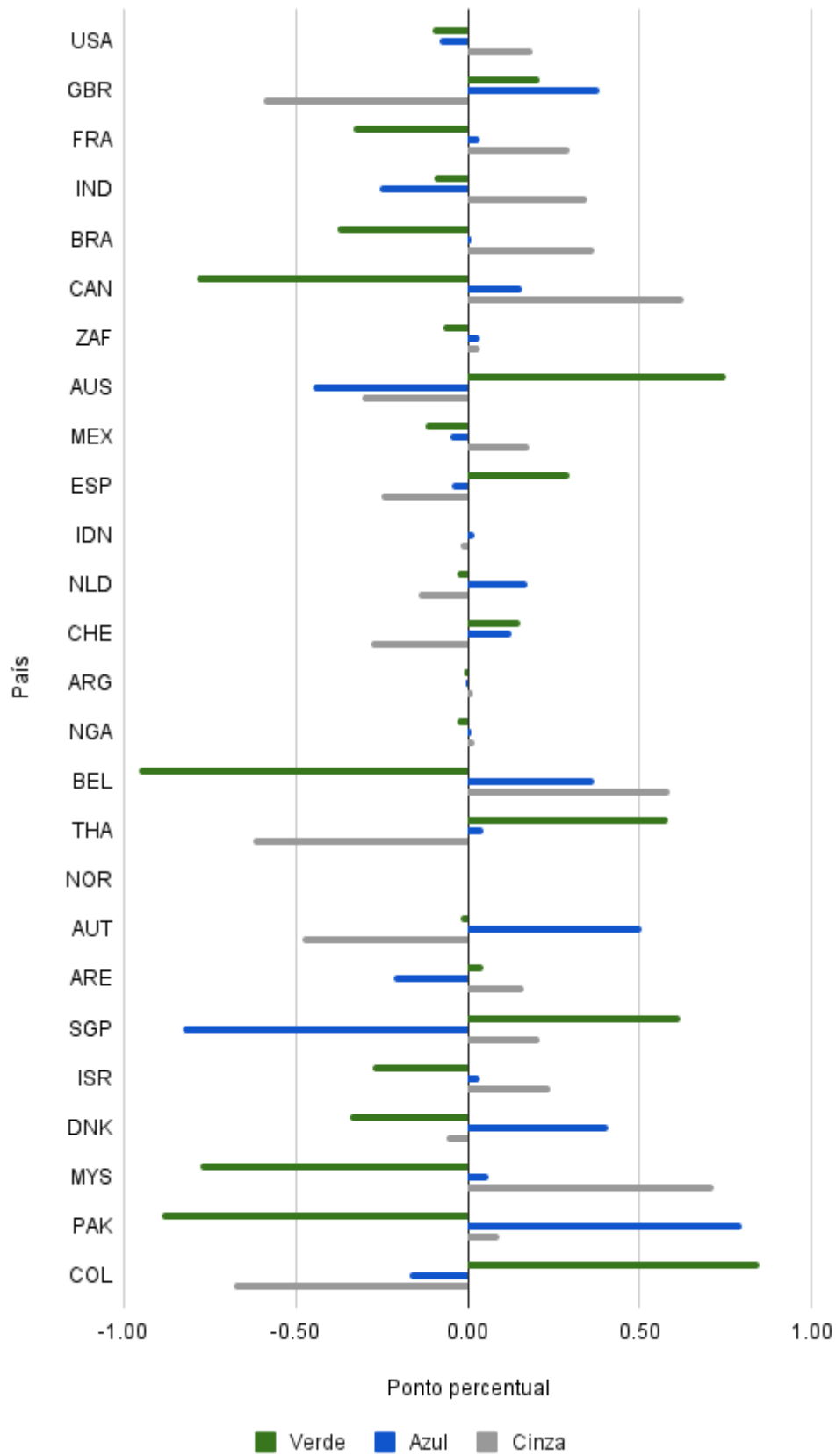
**Tabela 12** - Reconfiguração da pegada hídrica dos países (Bm³) (continuação)

	Efeito intensidade			Efeito tecnologia			Efeito estrutura da demanda final			Efeito volume da demanda final		
	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza	Verde	Azul	Cinza
TKM	11,20	10,97	0,30	23,49	24,17	1,00	-15,79	-17,34	-0,68	13,05	12,79	0,35
UGA	39,08	0,15	0,09	46,67	0,20	0,19	-7,51	-0,05	-0,10	45,42	0,17	0,11
UKR	183,39	6,56	20,02	80,84	3,78	15,66	-262,19	-9,41	-24,64	225,32	7,87	19,38

ARE	2,05	0,83	0,11	0,38	0,14	0,05	2,16	0,88	0,10	2,37	0,96	0,13
GBR	14,08	0,66	3,12	-0,02	0,07	-0,09	-5,06	-0,20	-1,18	16,77	0,76	3,83
TZA	25,71	0,71	0,15	10,17	0,32	0,08	-58,06	-1,63	-0,35	31,12	0,86	0,18
USA	372,87	55,86	88,57	4,97	0,73	0,14	-68,58	-10,80	-14,62	512,79	77,11	119,21
URY	7,28	0,56	0,18	10,63	1,01	0,32	-8,32	-0,83	-0,27	8,44	0,64	0,20
UZB	22,76	32,40	0,45	18,63	23,38	4,80	-23,68	-30,49	-5,14	25,91	37,58	1,63
VEN	19,84	1,31	1,22	2,33	0,16	0,22	15,85	1,03	0,88	23,11	1,52	1,39
VNM	33,76	4,29	23,55	56,58	8,10	49,89	-2,95	-1,26	-16,92	57,45	6,84	28,23
YEM	9,88	5,37	0,31	-5,63	-4,21	-0,14	3,79	2,37	0,09	11,67	6,35	0,36
ZMB	14,77	0,79	0,47	62,38	3,38	2,09	-53,77	-2,92	-1,79	17,23	0,93	0,55
ZWE	3,12	0,20	0,19	4,79	0,31	0,50	-17,84	-1,16	-1,28	3,90	0,25	0,23

Fonte: O próprio autor

**Gráfico 8 - Variação percentual da pegada hídrica dos países**



**Fonte:** O próprio autor.