

() Graduação (X) Pós-Graduação

**O PAPEL DO COMÉRCIO DE ÁGUA VIRTUAL NA DISTRIBUIÇÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS GLOBAIS: uma avaliação a partir de uma revisão sistemática
da literatura**

Anderson Ribeiro de Almeida
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
anderson.almeida@ifpr.edu.br

José Francisco dos Reis Neto
Universidade Anhanguera-Uniderp
jfrn@terra.com.br

RESUMO

O aumento populacional e o crescimento das atividades econômicas têm gerado um aumento significativo na demanda água em escala global, contribuindo para elevação do estresse hídrico com o passar dos anos. Como alternativa de redução dos impactos econômicos-ambientais entre o fornecimento e a demanda de água, foi adotada a estratégia de comercializar a água virtual. Em face a isto, este estudo questiona: Como o comércio de água virtual contribui para o fluxo e distribuição de água global? Este artigo visa apresentar uma revisão sistemática de estudos considerando os termos “*virtual water trade*” e “*virtual water flow*”, com trabalhos publicados entre os anos 2017-2021. Para isto foi realizada uma revisão sistemática da literatura com busca de artigos científicos, artigos de conferência, artigos de revisão e acessos antecipados, na base de dados da *Web of Science Core Collection*. Os resultados indicaram que grande parte dos estudos foram realizados na China e em países asiáticos, nos quais foram calculados o volume de água virtual e o fluxo de água virtual. O setor agropecuário é o setor econômico com maior pegada hídrica em regiões exportadoras de alimentos e que o consumo direto de água da indústria primária foi responsável consumo total de água em regiões que industrializadas. Este estudo propôs que o aumento da força cíclica da indústria nos sistemas econômicos locais são medidas eficazes para reduzir a perda de água e melhorar a eficiência do uso.

Palavras-chave: Recursos hídricos; Planejamento e gestão dos recursos hídricos; Sustentabilidade econômica e ambiental.

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para o desenvolvimento humano, mas apenas 0,5% da toda a água na Terra é potável (WATER, 2021). Em termos gerais, o Brasil tem grande disponibilidade de água. Esse recurso natural, entretanto, encontra-se distribuído de maneira heterogênea, dada a grande extensão territorial do país (ANA, 2020).

O aumento populacional e o crescimento das atividades econômicas têm gerado um aumento significativo na demanda hídrica mundial, contribuindo para elevação do estresse hídrico com o passar dos anos. A finalidade que mais demandou o maior volume de água no Brasil em 2019 foi a irrigação, sendo responsável por 49,8%, correspondente a 1.038 m³/s de retirada de água; desse montante, 66,1% (744 m³/s) foi de consumo e apenas 30,7% (295 m³/s) do total retornou à natureza. Em seguida, o abastecimento urbano é responsável por 24,3% (506 m³/s) de retirada de água, 9,0% (101 m³/s), no entanto, retornou 42,2% (405 m³/s) do total de volume de água para a natureza.

O uso intensificado de água devido à rápida industrialização é frequentemente ditado por políticas econômicas baseadas no crescimento monetário em vez do uso sustentável dos recursos ambientais (KONAPALA e MISHRA, 2020). Considerando que a água é um recurso indispensável para condição humana e para o desenvolvimento econômico, além de manter o equilíbrio do meio ambiente ecológico. No entanto, por questões naturais, este recurso é distribuído de forma desigual no planeta o que tem afetado seriamente o desenvolvimento econômico de vários países (WADA *et al.*, 2016).

Um dos grandes problemas mencionado na literatura científica é sobre o conflito existente entre a água utilizada no setor agrícola e de alimentos e o desenvolvimento econômico (YANG *et al.*, 2021). As quantidades de água incorporadas em *commodities* são transferidas via comércio inter-regional, o que aumenta o risco de escassez da região exportadora (ZHANG *et al.*, 2020), enquanto o consumo e a transferência de pegada hídrica azul-verde no setor agrícola constituem a parte mais importante do ciclo da água, considerando os aspectos naturais da região (LONG *et al.*, 2021). A escassez dos recursos hídricos se tornou um problema global (BWAMBALE *et al.*, 2022).

Para aliviar a lacuna entre o fornecimento e a demanda de água, foi adotada a estratégia de comercializar a água virtual, ou seja, a quantidade de água necessária para produzir produtos e serviços em seu lugar de origem, a qual é comercializada e transportada para outras regiões, considerando todos os insumos em toda a cadeia de produção (ALLAN, 1993; HOEKSTRA e HUNG, 2002; ALLAN, 2011; ZHANG *et al.*, 2020; REN *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2021).

Neste contexto, este artigo apresenta a seguinte questão norteadora: **Como o comércio de água virtual contribui para o fluxo e distribuição de água global (contribui para a democratização da água no mundo)?** A fim de respondê-la, foram elaborados os objetivos geral e específicos:

- Objetivo Geral: Apresentar uma revisão sistemática de estudos considerando os termos “virtual water trade” e “Virtual water flow”, com artigos publicados entre os anos 2017-2021.
- Objetivos específicos: (i) identificar os principais autores que abordaram a temática; (ii) identificar quais países foram alvo desses estudos; (iii) avaliar como o comércio entre estes países impactam na distribuição dos recursos hídricos globais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Água virtual significa o volume de água necessário para produzir um produto ou serviço em seu lugar de origem, o qual é comercializado e transportado para outra região incorporada, considerando todos os insumos em toda a cadeia de produção (ALLAN, 1993; HOEKSTRA; HUNG, 2002). A estratégia de comércio de água virtual refere-se a uma tática na qual países com escassez de água (regiões) importam produtos ou serviços industriais e agrícolas de países ricos em água (regiões) para substituir a sua própria produção (ALLAN, 1993; ALLAN 2011).

O comércio de água virtual tem a capacidade de melhorar o acesso físico e econômico à água em regiões onde há escassez, permitindo que economizem água doméstica por meio da importação de produtos intensivos em água. Tanto o comércio quanto a rede de comércio de água virtual podem refletir o saldo comercial de importação e exportação de cada país; por isso, têm uma importância realista para se analisar as características da rede do comércio virtual de água (DINESH KUMAR, 2018)

O conceito, inicialmente introduzido como uma solução parcial para problemas de escassez de água no Oriente Médio, expressou a ideia de usar a água virtual, que vem junto com a importação de alimentos, como uma ferramenta para suavizar a pressão sobre os recursos hídricos, pouco disponível naquela região. O volume do comércio global continuou a se expandir desde o século XX, resultando em um aumento da quantidade de troca virtual de água por meio de commodities (ALLAN, 1997; SHTULL-TRAURING; BERNSTEIN, 2018).

O comércio internacional desses produtos traz consigo fluxos internacionais de água virtual. Isso significa que 13% da água usada para a produção agrícola no mundo não é usada

para consumo doméstico, mas para exportação (na forma virtual) (HOEKSTRA e HUNG, 2002). Os cálculos envolvidos na estimativa do volume da comercialização da água virtual são complexos. Para estimar esses valores, deve-se levar em conta a água envolvida em toda a cadeia produtiva, as características específicas de cada região produtora, assim como as características ambientais e tecnológicas (CARMO *et al.*, 2007).

No modelo de insumo-produto, os dados de uso de água de cada indústria, divididos pelo produto total, são usados para obter o coeficiente de uso direto de água. Em seguida, o coeficiente de uso direto da água é multiplicado pela matriz inversa de Leontief. Finalmente, a importação e a exportação na tabela de entrada-saída são utilizadas para se obter o volume de comércio de água virtual em vários setores (DENG *et al.*, 2015; ZHAO *et al.*, 2015; RODRÍGUEZ-SERRANO *et al.*, 2017; TIAN *et al.*, 2018; WIEDMANN; LENZEN, 2018; SUN *et al.*, 2019).

O conceito de água virtual foi desenvolvido para abordar o comércio e a escassez de água, em vez dos impactos ambientais. Ainda, essa noção tem sido usada principalmente para ilustrar o fluxo de água entre os países por meio do comércio de produtos alimentícios. Trata-se, portanto, de um conceito que vincula água, alimentos e comércio de maneira acessível (REDDY *et al.*, 2014).

Uma crítica comum é que o termo água virtual pode levar ao engano, criando graves erros de análise, isso porque faz com que se pense que a água está sendo trocada em vez de “comida” ou “consumida” (MERRETT, 2003). A água virtual não é de um todo virtual; envolve a água real, que é usada para produzir culturas e, desse modo, é representada pelas necessidades de água da cultura.

Em vez de pensar em água virtual, o valor da água deve ser capturado pensando-se na água como parte do valor da terra em que uma cultura é produzida (ALLAN, 2003). Ainda pode ser descrita como “água exógena”; a descrição da importação de água virtual para um país significa usar água que é exógena ao país importador (HOEKSTRA; HUNG, 2002).

O método proposto por Hoekstra e Hung (2002) e por Chapagain e Hoekstra (2003) para calcular o volume de comércio virtual de água de acordo com as etapas de produção do produto é eficaz para calcular o volume de comércio virtual de água de produtos agrícolas, mas é inconveniente para o cálculo do volume de produtos industriais e produtos da indústria de serviços devido ao seu complicado processo operacional.

Outros pesquisadores propõem aplicar o modelo de insumo-produto para calcular o volume virtual de comércio de água de várias indústrias. Tal ferramenta pode ser dividida em um modelo de insumo-produto de região única e um modelo multirregional de insumo-produto

de acordo com o número das áreas de pesquisa. As etapas adotadas por esses dois modelos são basicamente as mesmas.

Allan (2011) considera que a água usada para cultivo em um país rico em recursos hídricos poderia ser exportada para países mais secos, economizando a água que seria utilizada para plantar as lavouras. A importação virtual de água torna-se assim uma fonte de água alternativa, junto a fontes de água endógenas.

O conceito de água virtual e as estimativas quantitativas podem ajudar a avaliar um índice de escassez de água mais realista em cada país, projetando a demanda futura de água para abastecimento de alimentos. Ademais, tal conceito poderia também aumentar a consciência pública sobre a água e identificar os processos que a estão desperdiçando na produção (OKI; KANAE, 2004).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A revisão sistemática da literatura foi realizada pela busca de artigos científicos, artigos de conferência, artigos de revisão e acessos antecipados, na base de dados da *Web of Science Core Collection* (publicado pela *Clarivate AnalyticsTM*), com a limitação de tempo das publicações entre os anos de 2017-2021.

Os termos considerados pela pesquisa, juntamente com seus objetivos, foram: “*virtual water trade*” AND “*Virtual water flow*”. Essa configuração de busca (na pesquisa de títulos, que inclui título, palavras-chave e resumo) gerou 127 documentos, que foram organizados no software de gerenciamento de referência EndNote®. Foram selecionados 26 artigos que apresentavam o modelo regional ou multirregional de entrada e saída, identificando as regiões, cujo objetivos relacionavam com o comércio de água virtual ou fluxo de água virtual.

Os documentos foram analisados descritivamente para identificar as seguintes métricas: o número de publicações por ano; o número de citações por ano; os autores mais citados; fontes e países influentes; rede de colaboração entre países; relação de autores, países e palavras-chave; as palavras-chave mais usadas, a evolução delas ao longo dos anos e uma rede de copalavras. Foram aplicadas ferramentas de visualização analítica (*biblioshiny*) e um pacote de análise bibliométrica (ARIA; CUCCURULLO, 2017), disponível no software R Studio® e Microsoft Excel®, para facilitar os resultados apresentados.

4 DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A água realmente necessária nos países exportadores é geralmente menor do que a água virtualmente necessária nos países importadores, refletindo, desse modo, uma vantagem comparativa da eficiência do uso da água (OKI; KANAE, 2004). Há que se ressaltar que existe uma distribuição desigual da disponibilidade hídrica entre as diversas partes do planeta, assim como existe uma variação sazonal que é importante, com a concentração de períodos chuvosos em alguns meses do ano (CARMO *et al.*, 2007).

Muitos pesquisadores têm estudado as características da rede do comércio virtual de água entre países (regiões) em todo o mundo. Konar *et al.* (2011) investigaram o comércio virtual de água de produtos alimentícios em vários países, em 2000. Eles apontaram que os Estados Unidos desempenham um papel fundamental na manutenção da arquitetura da rede global.

A partir da metodologia proposta neste artigo, com o objetivo de identificar os estudos mais atuais, os autores, objeto de estudo e a região estudada, sobre o comércio de água virtual, foi realizada uma revisão da literatura dos últimos cinco anos (2017 a 2021), publicados em inglês, cuja metodologia utilizada foi o modelo regional ou multirregional de entrada e saída, identificando as regiões e os objetos de estudos. Observou-se que grande parte dos estudos foi realizada na China e em países asiáticos, nos quais foram calculados o volume de água virtual e o fluxo de água virtual. Os resultados e os trabalhos selecionados, são apresentados no quadro 1, a seguir.

Quadro 1: Trabalhos selecionados

Autores	Objeto de estudo	Região
Gao <i>et al.</i> (2020)	Cálculo do volume da água virtual	China
Deng e Liu (2021)		China
Deng <i>et al.</i> (2021)		Global
Huang <i>et al.</i> (2021)		China
Long <i>et al.</i> (2021)		Montanhas Tian Shan do Norte
Qasemipour <i>et al.</i> (2020)		Irã
Tian <i>et al.</i> (2018)		China
Tian <i>et al.</i> (2020)		China (Bacia do Rio amarelo)
Zhang <i>et al.</i> (2021)		Quirguistão
Hassan <i>et al.</i> (2017)		Malásia
Gkatsikos e Mattas (2021)		Mediterrâneo
Achraf <i>et al.</i> (2021)		Marrocos

Chen <i>et al.</i> (2018)	Fluxo de água Virtual	China
Fu <i>et al.</i> (2021)		União Europeia
Aviso <i>et al.</i> (2018)		Global
Liu <i>et al.</i> (2019)		China
Qasempour <i>et al.</i> (2020)		Irã
Soares <i>et al.</i> (2021)		Brasil - Ceará
Brum <i>et al.</i> (2019)		Brasil – Mato Grosso do Sul
Wang <i>et al.</i> 1 (2021)		China (Cadeia de abastecimento)
Yang <i>et al.</i> (2021)		China
Ren <i>et al.</i> (2020)		China
Zarei e Nasrollahib (2020)		Irã (EU28)
Zhang <i>et al.</i> (2019)		China
Zhang <i>et al.</i> (2020)		China (Nordeste)
Zhao <i>et al.</i> (2020)		China (Bacia do Rio amarelo)

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os aspectos abordados pelos estudos estão diretamente relacionados ao consumo de água virtual pelos setores econômicos, e a importação e exportação de água virtual. Alguns estudos ainda abordaram os efeitos econômicos e ambientais causados pelo comércio virtual de água.

Gao *et al.* (2020) que realizaram uma análise quantitativa da realocação e ligações da água virtual no setor econômico que foi importante para a gestão integrada dos recursos hídricos em regiões áridas interiores. Os resultados indicaram que o consumo direto de água azul e verde da indústria primária foi responsável, respectivamente, por 99,2% e 100% do consumo total de água. O setor de plantio teve o maior volume de saída de água virtual entre todos os setores. A pecuária, a silvicultura e a construção tiveram um grande efeito de atração sobre o fluxo da água virtual do setor de plantio, enquanto o setor de plantio e a pecuária foram os principais setores para a exportação de água azul e verde da água virtual.

Os setores agrícola e pecuário no Quirguistão na Ásia Central, são os principais consumidores de água. É um país que depende da importação líquida de água virtual. O trigo é o principal fornecedor de água virtual e os vegetais, frutas, nozes, fibras vegetais, gado bovino e o leite cru são os principais setores que afetam a rede metabólica de água virtual, ou seja, a relação de utilidade e água virtual integral índice de reciclagem (ZHANG *et al.* 2021). Já a Malásia, o comércio de produtos industriais entre seus principais parceiros comerciais tem uma capacidade limitada para melhorar a distribuição de água virtual global. Essa limitação pode ser devido as exportações de produtos industriais que são principalmente impulsionadas por setores menos intensivos em água (HASSAN *et al.* 2017).

A importação e exportação do comércio de água virtual entre os 19 principais países em 2015 aumentou em graus variáveis. Entre eles, as taxas de crescimento das importações da China e das exportações da Rússia foram as mais altas (DENG *et al.* 2021), isto devido à melhoria das instalações de transporte e a redução contínua dos custos logísticos (DENG; LIU, 2021).

Os principais países exibiram as maiores exportações e importações dentro da indústria primária, exceto Japão e Coréia do Sul. Portanto, para amenizar a contradição entre oferta e demanda de recursos hídricos em diversos países, é necessário fortalecer ainda mais a construção de meios de transporte e reduzir o custo logístico do comércio de produtos industriais e agrícolas, especialmente o custo de comercialização de produtos agrícolas, como grãos, de modo a expandir ainda mais a importação de água virtual e comércio de exportação para expandir ainda mais o comércio de importação e exportação da rede de água virtual (DENG *et al.* 2021).

Dentre os dados de importação, a taxa de crescimento da importação de água virtual da China é a mais alta, chegando a 267,94%, o que pode ser creditado ao grande aumento nas importações do setor alimentar e produtos agrícolas, principalmente a soja com alto teor de água virtual de produtos agrícolas nos últimos anos. A China importa principalmente água virtual dos EUA, Índia e Brasil, e exporta principalmente água virtual para os EUA, Japão e Alemanha. Oito economias responderam por mais de 50% do total de exportação e importação de água virtual da China, sendo que o total dos Estados Unidos, Japão e Europa atingiu 44% (exportação) e 31,3% (importação) em 2014 (TIAN *et al.* 2018; DENG; LIU, 2021; HUANG *et al.* 2021).

O país com a maior importação de água virtual em 2006 foram os EUA, com um total de 202.576,37 hm³. As importações de água virtual da Argentina foram as mais baixas, com 4.350,02 hm³. O país com o maior volume de exportação de água virtual foi a China, com um total de 122.508,74 hm³. Em contraste, as exportações de água virtual da Arábia Saudita foram as mais baixas, com 461,65 hm³. O país com as maiores importações de água virtual, em 2015, foram os EUA, com um máximo de 271.706,88 hm³. Por outro lado, as importações de água virtual da Argentina foram as mais baixas, com 10.575,52 hm³. O país com as maiores exportações de água virtual foi a Índia, com um total de 192.988,25 hm³, ao passo que a Arábia Saudita foi a que menos exportou, somente 756,71 hm³ (DENG; LIU, 2021).

O crescimento das importações de água virtual na África do Sul é relativamente lento, com uma taxa de crescimento de apenas 31,62%. Para as exportações, as da Rússia têm a maior taxa de crescimento, com 131,04%, e o México, por sua vez, tem a menor taxa, apenas 22,64%

(DENG e LIU, 2021). A parte norte do Irã, sem escassez de água, importou água virtual por meio do comércio de bens e serviços, enquanto as regiões com grande escassez de água eram exportadoras líquidas de água virtual, atribuídas a exportação de produtos agrícolas (QASEMIPOUR *et al.*, 2020).

Estudos realizados na região do mediterrâneo indicam que a região tem um déficit comercial e luta economicamente, mas é um importador líquido de água virtual e garante a sustentabilidade da água. Como esse déficit de água virtual depende fortemente da agricultura e se origina no vasto consumo total de água, e não em um grande déficit comercial, ocorre um paradoxo; os cultivos com uso intensivo de água e os animais que consomem 91,75% dos recursos hídricos acabam aparentando economia de água. Já o Reino Unido foi considerado um importador líquido de água virtual e depende significativamente da União Europeia, que realiza um grande fluxo de água virtual entre os Estados Unidos durante 2000-2012. Porém, a China conquistou gradualmente a parcela de água virtual das exportações da União Europeia após este período (Fu *et al.*, 2021; GKATSIKOS; MATTAS, 2021).

Com a mesma abordagem foram encontrados estudos realizados no Brasil, que considerando os aspectos físico-climáticos por serem realizado no Ceará é está localizado na região do semiárido brasileiro, Soares *et al.* (2021) desenvolveram um estudo cujo objetivo foi observar os setores com maior grau de influência e impacto no consumo direto e intermediário de água na economia cearense. Os resultados indicaram que a demanda hídrica dos setores econômicos soma 1.330,0 Km³. Sendo que a agropecuária tem a maior pegada hídrica direta (62,08%) e os multiplicadores de produção, emprego e renda são, respectivamente, R\$ 17,09/m³, R\$ 3,01/m³ e 0,80 emprego/1000 m³ quando comparados aos demais setores. O consumo intermediário de água foi de 193,47 Km³ e o setor agropecuário contribuiu com 19,37%. O estudo concluiu que o setor agropecuário, apesar de ser reconhecido como um setor que consome grande quantidade de água em seus processos produtivos, neste estudo, não foi identificado como um setor chave em termos de fluxos hídricos.

No Mato Grosso do Sul, Brum *et al.* (2019), por sua vez, analisou o saldo de água virtual decorrente do comércio internacional do Mato grosso do Sul, foram utilizadas a metodologia Hoekstra *et al.* (2011) para o cálculo da Pegada Hídrica e os indicadores de encadeamento para trás e para frente definidos pela matriz de insumo-produto a fim de entender o comportamento da demanda de água na economia do estado. Os resultados apontaram que o Mato Grosso do Sul é exportador líquido de água virtual, considerando os produtos selecionados.

O estudo identificou que a soja em grão é um produto estimulador de outros setores, para frente e a fabricação de óleos como setor chave, com índice para trás e para frente de 1,46

e 1,43. O estudo constatou que o estado possui políticas econômicas de incentivo aos produtos industrializados em detrimento aos produtos primários. Como sugestão a pesquisa propôs a elaboração de políticas públicas, ambientais e econômicas, mais eficazes no controle hídrico (BRUM *et al.* 2019).

Já Zangiski e Carvalho (2021) buscaram compreender o comércio de água virtual entre o Paraná e as principais regiões com as quais ele comercializa, bem como investigaram se o Paraná se comporta como importador ou exportador regional líquido nesse segmento. Na perspectiva de consumo, o setor agropecuário possui o maior coeficiente de consumo, sendo 0,78, o que significa que para cada R\$ 1.000 de demanda final adicional para este setor, são consumidos 0,78 hm³ de água. Na perspectiva do comércio os resultados apontaram que o Paraná, no contexto do comércio interestadual é um exportador líquido de água virtual, com resultado líquido de 1181,19 hm³/R\$ 1.000,00. O estudo propõe a formulação de políticas públicas que visem analisar meios mais eficientes de uso dos recursos hídricos, ganha maior importância na gestão destes recursos em momentos de crise hídrica, como a que o Paraná enfrenta.

Em acréscimo, o IPEA, por meio dos pesquisadores Visentin e Szigethy (2022), mapeou o uso de água ao longo da cadeia de produção no Brasil e estimou os impactos da adoção de tecnologias menos intensivas em água sobre a intensidade hídrica total e o uso de água.

O estudo apresentou que, em geral, uma porcentagem maior de países em desenvolvimento (ou seja, países menos desenvolvidos e em desenvolvimento) exibiram tendências crescentes em capacidade, robustez, eficiência e flexibilidade de rede de água virtual em comparação com os países desenvolvidos. A dinâmica das redes de água virtual está positivamente associada ao crescimento socioeconômico para poucos países, o que indica o comportamento sustentável das redes com o crescimento socioeconômico (KONAPALA; MISHRA, 2020).

Uma característica comum encontrada entre alguns estudos é foram a utilização do modelo de insumo-produto para calcular o volume de água virtual de diversos setores produtivos. Esse método permite aplicar o modelo de insumo-produto regional (única região) e/ou em inter-regional, variando de acordo com o número das áreas de pesquisadas (DENG *et al.*, 2015; ZHAO *et al.*, 2015; RODRÍGUEZ-SERRANO *et al.*, 2017; TIAN *et al.*, 2018; WIEDMANN; LENZEN, 2018; SUN *et al.*, 2019).

5 CONCLUSÕES

A água virtual incorporada ao comércio internacional é equivalente a quase um terço da retirada global de água, confirmando que o comércio desempenha um papel significativo na redistribuição dos recursos hídricos globais. A distribuição de água virtual global pode ser melhorada se o comércio de produtos industriais promover fluxos de água virtuais de países com abundância de água para países com escassez de água. Portanto, a quantidade de água virtual que escoar para outros países também é baixa. Em segundo lugar, o comércio de produtos industriais envolve amplamente fluxos de água com países com abundância de água. Apenas vários países com escassez de água se beneficiam do comércio virtual de água em produtos industriais, a saber, Holanda, Austrália e China. Mais pesquisas são necessárias para encontrar um equilíbrio entre o crescimento econômico e a proteção ambiental.

Os efeitos econômicos e os efeitos da intensidade da água virtual são os impulsionadores mais significativos dos fluxos de água virtual. A diferença é que o efeito econômico impulsiona positivamente os fluxos de água virtual, enquanto o efeito de intensidade da água virtual influencia negativamente.

O crescimento da escala de exportação foi a principal razão para o crescimento da exportação de água virtual. O crescimento da escala de importação foi a principal razão para o crescimento da importação de água virtual na maioria dos setores. A atual estrutura de comércio de água virtual também contribuiu para aumentar a escassez de água. Os formuladores de políticas devem reconsiderar a política comercial atual em relação à liberalização da produção de alimentos, a fim de disponibilizar os limitados recursos hídricos para regiões onde a produção de bens industriais, que podem contribuir mais para a economia. Finalmente, as implicações políticas são propostas para a gestão sustentável da água na China e para a gestão da cadeia de abastecimento global em geral.

A fim de sustentar o desenvolvimento o estudo vem sugerir a responsabilidade de compensação da área de influxo de água virtual, e a necessidade de compensação de a área de escoamento da rede virtual de água, a fim de alcançar uma utilização eficiente dos recursos hídricos. Além disso, a interdependência dentro dos setores econômicos ainda mais entrelaça o uso da água por meio de transações de produtos, o que torna ainda mais difícil quantificar a dinâmica dos sistemas hidro econômicos em escala regional, nacional e global.

A partir das análises, este estudo propõe que o aumento da força cíclica da indústria primária nos sistemas econômicos locais são medidas eficazes para reduzir a perda de água e melhorar a eficiência do uso. Além disso, ao considerar os resultados, este estudo propõe que

os governos deveriam promover o desenvolvimento de indústrias com grande potencial de armazenamento de água, como construção, manufatura e silvicultura, e que o ajuste da estrutura das indústrias locais deve ser acelerado de modo a reduzir a perda de água virtual durante a produção econômica locais e os fluxos de comércio da indústria primária.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, bem como do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná.

REFERÊNCIAS

ACHRAF, A.; BOUDHAR, S.; LECHHEB, H.; OUAKIL, H. Sectoral water footprint dynamics: An input-output structural decomposition analysis for Morocco. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2021. p. 041

ALLAN, J. A. Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible. In: Priorities for water resources allocation and management. **Overseas Development Administration** (ODA), London, p. 13-26, 1993.

ALLAN, J. A. '**Virtual water**': a long term solution for water short Middle Eastern economies?. London: School of Oriental and African Studies, University of London, 1997.

ALLAN, J. A. Virtual Water: the Water, Food, and Trade Nexus Useful Concept or Misleading Metaphor?. **Water International**, London, v. 28, n. 1, p. 4-11, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/02508060.2003.9724812>

ALLAN, T. Virtual water: tackling the threat to our planet's most precious resource. **Bloomsbury Publishing**, 2011.

ANA. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos do Brasil**. 2020. 2. ed. Brasília: ANA, 2020.

ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, [S.I.], v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. DOI: 10.1016/j.joi.2017.08.007

AVISO, K. B.; HOLAYSAN, S. A. K.; PROMENTILLA, M. A. B.; YU, K. D. S.; TAN, R. R. A multi-region input-output model for optimizing virtual water trade flows in agricultural crop production. **Management of Environmental Quality**, v. 29 n. 1, p. 63-75. <https://doi.org/10.1108/MEQ-01-2017-0012>.

BRUM, A. K. D.; FRAINER, D. M.; SOUZA, C. C.; REIS, J. F. D. Análise do fluxo de Água virtual: uma abordagem a partir da balança comercial de Mato Grosso do Sul. **Interações**

(Campo Grande), v. 20, p. 297-313, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v0i0.1587>

BWAMBALE, E. et al. Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review. **Agricultural Water Management**, [S.I.], 260, art. 107324, 2022. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107324

CARMO, R. L. D.; OJIMA, A. L. R. D. O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T. T. D. Água virtual, escassez e gestão: o Brasil como grande "exportador" de água. **Ambiente & sociedade**, v. 10, p. 83-96, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2007000200006>

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. **Delft**, The Netherlands: UNESCO-IHE, 2003.

CHEN, W.; WU, S.; LEI, Y.; LI, S. Virtual water export and import in china's foreign trade: A quantification using input-output tables of China from 2000 to 2012. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 132, p. 278-290, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.017>.

DENG, G.; WANG, L.; SONG, Y. Effect of variation of water-use efficiency on structure of virtual water trade-analysis based on input-output model. **Water Resources Management**, v. 29, n. 8, p. 2947-2965, 2015.

DENG G; LIU Y. Research on China's Virtual Water Trading Regarding the Differences between Countries and Industries from the Global Perspective. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 30, n. 3, p. 2049-2061, 2021. DOI:10.15244/pjoes/128350.

DENG, G.; LU, F.; WU, L.; XU, C. Social network analysis of virtual water trade among major countries in the world. **Science of The Total Environment**. v. 753, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142043>

DINESH KUMAR, M. Physical transfer of water versus virtual water trade: economic and policy considerations. **Water Economics and Policy**, v. 4, n. 03, p. 1850001, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1142/S2382624X18500017>

FU, T. et al. Analysis of Virtual Water Trade Flow and Driving Factors in the European Union. **Water**, v.13, p. 1771, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13131771>.

GAO, D.; LONG, A.; YU, J.; XU, H.; SU, S.; ZHAO, X. Assessment of Inter-Sectoral Virtual Water Reallocation and Linkages in the Northern Tianshan Mountains, China. **Water**, n. 12, v. 2363, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092363>.

GKATSIKOS, A.; MATTAS, K. The Paradox of the Virtual Water Trade Balance in the Mediterranean Region. **Sustainability**, v. 13, n. 2978, 2021. DOI:10.3390/su13052978.

HASSAN, A; SAARI, M. Y.; TENGKU ISMAIL, T. H. Virtual water trade in industrial products: evidence from Malaysia. *Environment, Development and Sustainability: A Multidisciplinary Approach to the Theory and Practice of Sustainable Development*, **Springer**, v. 19, n. 3, p. 877-894, 2017. DOI: 10.1007/s10668-016-9770-2.

HOEKSTRA, A. Y; HUNG, P. Q. Virtual Water Trade: A quantification of virtual water flows

between nations in relation to international crop trade. **Value of Water Research Report Series**, n. 11, p. 25-47. UNESCO-IHE. Delft, Holanda, 2002.

HOEKSTRA, A. Y. How sustainable is Europe's water footprint? **Water and Wastewater International**, v. 26, p. 24-26, 2011.

HUANG, M.; XU, C.; WANG, F.; XIONG, L.; ZHOU, K. Research on the Measurement and Influencing Factors of Implicit Water Resources in Import and Export Trade from the Perspective of Global Value Chains. **Water**, v. 13, n. 11, p. 1498, 2021.

KONAPALA, G.; MISHRA, A. Dynamics of virtual water networks: Role of national socio-economic indicators across the world. **Journal of Hydrology**, v. 589, p. 125171, 2020.

KONAR, M.; DALIN, C.; SUWEIS, S.; HANASAKI, N.; RINALDO, A.; RODRIGUEZ - ITURBE, I. Water for food: The global virtual water trade network. **Water Resources Research**, v. 47, n. 5, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011GL046837>

LIU, X.; DU, H.; ZHANG, Z.; CRITTENDEN, J. C.; LAHR, M. L.; MORENO-CRUZ, J.; ... ZUO, J. Can virtual water trade save water resources? **Water Research**, v. 163, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.07.015>.

LONG, A. et al. Understanding the Spatial-Temporal Changes of Oasis Farmland in the Tarim River Basin from the Perspective of Agricultural Water Footprint. **Water**, v. 13, n. 696, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13050696>

MERETT, S. Virtual water and Occam's Razor. **Water international**, v. 28, n. 1, p. 103-105, 2003. DOI: doi.org/10.1080/02508060.2003.9724811

OKI, T.; KANAE, S. Virtual water trade and world water resources. **Water Science and Technology**, v. 49, n. 7, p. 203-209, 2004. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2004.0456>

QASEMIPOUR, E.; TARAHOMI, F.; PAHLOW, M.; MALEK SADATI, S. S.; ABBASI, A. Assessment of virtual water flows in Iran using a multi-regional input-output analysis. **Sustainability**, v. 12, n. 18, p. 7424, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187424>

REDDY, T.; HASTINGS, E.; PEGRAM, G. Literature Review: Applicability of Water Footprints in South Africa. Republic of South Africa: **Water Research Commission**, 2014. v.1 [Water Footprints for Industry in South Africa, 2 v.]

REN, Y. et al. Inter-Regional Agricultural Virtual Water Flow in China Based on Volumetric and Impact-Oriented Multi-Regional Input-Output (MRIO) Approach. **Water**, v. 12, n. 251. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/w12010251>

RODRÍGUEZ-SERRANO, I.; CALDÉS, N.; DE LA RÚA, C.; LECHÓN, Y.; GARRIDO, A. Using the Framework for Integrated Sustainability Assessment (FISA) to expand the Multiregional Input-Output analysis to account for the three pillars of sustainability. **Environment, Development and Sustainability**, v. 19, n. 5, p. 1981-1997, 2017

SHTULL-TRAURING, E.; BERNSTEIN, N. Virtual water flows and water-footprint of agricultural crop production, import and export: A case study for Israel. **Science of the Total**

Environment, v. 622, p. 1438-1447, 2018.

SOARES, R. B.; DA SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. D. A. D.; PAIVA, W. D. L. Macroeconomic Accounting of Water Resources: An Input-Output Approach to Linkage Analysis and Impact Indicators Applied to the State of Ceará, Brazil. **Water**, v. 13, p. 869, 2021. DOI: 10.3390/w13060869.

SUN, S. K.; YIN, Y. L.; WU, P. T.; WANG, Y. B.; LUAN, X. B.; LI, C. Geographical evolution of agricultural production in China and its effects on water stress, economy, and the environment: the virtual water perspective. **Water Resources Research**, v. 55, n. 5, p. 4014-4029, 2019.

TIAN, X.; SARKIS, J.; GENG, Y.; QIAN, Y.; GAO, C.; BLEISCHWITZ, R.; XU, Y. Evolution of China's water footprint and virtual water trade: A global trade assessment. **Environment International**, v. 121, part 1, p. 178-188, 2018. DOI: doi.org/10.1016/j.envint.2018.09.011.

TIAN, G.; HAN, X.; ZHANG, C.; LI, J.; LIU, J. Virtual Water Flows Embodied in International and Interprovincial Trade of Yellow River Basin: A Multiregional Input-Output Analysis. **Sustainability** v. 12, v. 1251. 2020. DOI: 10.3390/su12031251

VISENTIN, J. C.; SZIGETHY, L. **Inovação tecnológica e sustentabilidade da cadeia de produção: um exercício para a água no Brasil** Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2022. DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/td2731>

WADA, Y. et al. Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. **Geoscientific Model Development**, v.9, n.1, p.175-222, 2016. DOI: 10.5194/gmd-9-175-2016.

WANG, S. et al. Identifying critical sectors and supply chain paths for virtual water and energy-related water trade in China. **Applied Energy**, v 299, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117294>.

WATER, U. N. **Summary Progress Update 2021: SDG 6 water and sanitation for all**. Geneva, Switzerland, 2021.

WIEDMANN, T.; LENZEN, M. Environmental and social footprints of international trade. **Nature Geoscience**, v. 11, n. 5, p. 314-321, 2018.

YANG, G. Q. et al. Coordinated development of agricultural water resources and the socio-economy in Shanxi province considering uncertainty. **Irrigation and Drainage**, [S.I.], v. 70, n. 4, p. 861-870, 2021. DOI: 10.1002/ird.2581

ZANGISKI, G. H.; CARVALHO, T. S. Análise do comércio virtual da água no Estado do Paraná: Uma abordagem de Insumo-Produto. **Economia & Região**, v. 9, n. 2, p. 149-171

ZAREI, M.; NASROLLAHI, Z. Virtual Water Trade between Iran and the European Union (EU28) – A Sectoral-Country Analysis Using the Input-Output Model. **Iranian Journal of Economic Studies**, v. 9, n. 2, p. 413-436, 2020.

ZHANG, Y.; CHEN, Y.; HUANG, M. Water Footprint and Virtual Water Accounting for China Using a Multi-Regional Input-Output Model. **Water**, v. 11, n. 34, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11010034>.

ZHANG, W. et al. Spillover risk analysis of virtual water trade based on multi-regional input-output model: A case study. **Journal of Environmental Management**, v. 275, 2020. DOI: doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111242.

ZHANG, H.; LI, Y. P.; SUN, J.; LIU, J.; HUANG, G. H.; DING, Y. K.; WU, X. J. A two-stage factorial-analysis-based input-output model for virtual-water quantification and metabolic-network identification in Kyrgyzstan. **Journal of Cleaner Production**, v. 301, p. 126960, 2021.

ZHAO, X.; LIU, J.; LIU, Q.; TILLOTSON, M. R.; GUAN, D.; HUBACEK, K. Physical and virtual water transfers for regional water stress alleviation in China. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 112, n. 4, p. 1031-1035, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1404130112>

ZHAO, H.; QU, S.; LIU, Y.; GUO, S.; ZHAO, H.; CHIU, A. C.; ... XU, M. Virtual water scarcity risk in China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 160, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104886>.