

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE “ÁGUA VIRTUAL” NO CONTEXTO DA AGRICULTURA

Systematic review of literature on “virtual water” in the context of
agriculture

Thayse Ana Ferreira*

<https://orcid.org/0000-0001-8690-0082>

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
thayse_ana@yahoo.com

Evandro Mendes de Aguiar**

<https://orcid.org/0000-0001-7099-6438>

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
evandro.info@gmail.com

Geysler Rogis Flor Bertolini***

<https://orcid.org/0000-0001-9424-4089>

Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil
geysler_rogis@yahoo.com.br

RECIBDO 16.11.2023 ACEPTADO: 6.02.2024

* Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

** Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil.

*** Docente no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Rural Sustentável, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil.



Resumo

Nas últimas décadas inúmeros debates e discussões foram realizados em torno dos recursos hídricos, a fim de possibilitar o desenvolvimento sustentável e o meio ambiente ecologicamente equilibrado. Neste contexto, surgiu o conceito de *água virtual*, que busca mensurar a água gasta em determinado processo produtivo. Tratar sobre a questão da água virtual no contexto da agricultura é deveras desafiador devido à complexidade do tema, ao volume econômico envolvido e, por existirem aspectos que ainda possuem estudos incipientes. A partir do exposto, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão do debate científico sobre água virtual no contexto da agricultura, explorando suas implicações para o desenvolvimento rural sustentável. Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão do debate científico sobre água virtual no contexto da agricultura, explorando suas implicações para o desenvolvimento rural sustentável. A revisão sistemática revelou que a temática ainda é pouco debatida, considerando a baixa quantidade de artigos encontrados com os termos “água virtual” e “agricultura” no título de artigos em português, inglês e espanhol. Esses estudos fornecem informações valiosas para a implantação de estratégias que promovam o desenvolvimento rural sustentável, destacando a importância de políticas integradas, tecnologias sustentáveis e práticas agrícolas responsáveis para garantir a prosperidade das comunidades rurais, preservando os recursos naturais, especialmente a água, que é vital para a vida e para a produção de alimentos.

Palavras chave: Revisão de Literatura; Água Virtual; Agricultura; Desenvolvimento Rural Sustentável.

Abstract

In recent decades, numerous debates and discussions have been held around water resources to enable sustainable development and an ecologically balanced environment. In this context, the concept of *virtual water* emerged, which seeks to measure the water used in each production process. Dealing with the issue of virtual water in the context of agriculture is very challenging due to the complexity of the subject, the economic volume involved, and because there are aspects that still have incipient studies. Based on the above, this article aims to

conduct a review of the scientific debate on virtual water in the context of agriculture, exploring its implications for sustainable rural development. The systematic review revealed that the topic is still little debated, considering the low number of articles found with the terms “virtual water” and “agriculture” in the titles of articles in Portuguese, English and Spanish. These studies provide valuable information for implementing strategies that promote sustainable rural development, highlighting the importance of integrated policies, sustainable technologies and responsible agricultural practices to ensure the prosperity of rural communities while preserving natural resources, especially water, which is vital for life and food production.

Keywords: Literature Review; Virtual Water; Agriculture; Sustainable Rural Development.

INTRODUÇÃO

O emprego de recursos renováveis e não renováveis sempre acompanhou os avanços tecnológicos, com uma demanda crescente e contínua à medida que a modernização se acelera (Melão, 2010; Giacomini & Ohnuma, 2012). Conforme ocorreu a expansão agrícola e a intensificação da industrialização, associada ao crescimento populacional, começaram a vir à tona graves problemas de degradação ambiental e escassez de recursos (Bergamaschi & Mingotte, 2015).

No caso da água, trata-se de um recurso indispensável para a manutenção dos ciclos biológicos e químicos e é essencial para a sobrevivência dos animais, das plantas e das pessoas (Oliveira, 2015; Silva Neto, Souza & Almeida, 2020; Lima *et al.*, 2023). Neste contexto, a água deixa de ser vista como apenas um bem econômico, passando a integrar os direitos humanos emergentes a fim de garantir acesso ao abastecimento e saneamento a custos acessíveis (Giacomini & Ohnuma, 2012).

Apesar da maior atenção dos governos em relação aos recursos hídricos, ainda se mostra um grande desafio suprir a população

adequadamente com este recurso (Wolkmer & Pimmel, 2013), o que é evidenciado pelo relatório do *World Resources Institute* (2023), o qual aponta que no mínimo um mês do ano cerca de metade da população mundial sofrem com o "estresse hídrico", nome dado pelos cientistas para a falta de água. Outro dado importante apresentando é que 25% da população já enfrenta estresse hídrico extremo, o que significa que os países estão usando mais de 80% dos seus recursos hídricos disponíveis. Este cenário deve piorar, pois de acordo com o mesmo relatório, estima-se um aumento de 20% a 25% da demanda de água até 2050 (World Resources Institute, 2023).

Frente à escassez de água, intensificou-se a preocupação com o meio ambiente, especialmente sobre as possibilidades de maior eficiência no uso dos recursos hídricos, resultando na valorização da água potável como bem de consumo. (Eustáquio & Rossoni, 2022). Diante dessa nova concepção sobre a água, as preocupações sobre a temática vêm se transformando em um enfrentamento ambiental, contexto no qual surge o termo "água virtual" (Lunardi, 2012; Oliveira, 2015). Este conceito é descrito como o comércio indireto da água que ocorre devido a água embutida em determinados produtos, sobretudo nas *commodities* agrícolas, o que ocorre por este recurso se tratar de uma matéria prima intrínseca (Carmo *et al.*, 2007).

No Brasil, assim como no cenário global, a agricultura é o setor com maior consumo de água, representando 72% do consumo total (Agência Nacional de Águas, 2012). Llamas e Martínez (2005) destacam que em países com características áridas ou semiáridas este cenário é ainda mais preocupante, pois o uso de água subterrânea para a agricultura nestas regiões vem provocando diminuição drástica no volume dos aquíferos, o que reflete em aumento nos custos de extração e irrigação.

Ao abordar esta temática, é fundamental compreender que não se trata somente de uma preocupação ambiental, já que a falta de água afeta diretamente a saúde a qualidade de vida das pessoas e se torna cada vez menos acessível para a população mais carente (Lunardi, 2012;

Oliveira, 2015). Além de uma abordagem baseada no tripé ambiental, social e econômico, é preciso levar em consideração a complexidade da temática, ao passo que envolve a implementação de políticas públicas, a negociação entre países e a conscientização da população e das empresas (Lima *et al.*, 2023)

Apesar da relevância da temática, o conceito de água virtual ainda é pouco difundido na sociedade (Almeida *et al.*, 2015). No Brasil estudos sobre o fluxo de água virtual ainda estão em fase inicial, embora em muitos países já se tenha clareza sobre o volume de água importado e exportado (Oliveira, 2015). A partir disso, este estudo parte da seguinte pergunta de pesquisa: Qual é o estado da arte do debate científico sobre a água virtual na agricultura, e como essa discussão impacta o desenvolvimento rural sustentável?

Para tanto, o presente estudo tem como objetivo realizar uma revisão do debate científico sobre água virtual no contexto da agricultura, explorando suas implicações para o desenvolvimento rural sustentável.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao tornar o uso da água mais eficiente ao longo das cadeias de suprimentos, é possível economizar recursos, minimizar desperdícios e aumentar a eficiência operacional, impactando diretamente os custos de produção, seja na indústria ou no plantio agrícola (Montoya & Talamini, 2021). Portanto, tem potencial para impactar positivamente o âmbito econômico e ambiental de uma região, o que por si só já contribui no âmbito social, considerando que quanto mais água é demandada pela indústria e comércio, maior a necessidade de água total para determinada da região (Wolkmer & Pimmel, 2023).

O conceito de “água virtual” foi apresentado em 1993 por John Anthony Allan, professor britânico da *School of Oriental & African Studies da University of London*, quando demonstrou que milhões de litros de água são necessários para a produção de alimentos que são comercializados (Lunardi, 2012; Almeida *et al.*, 2015). Este conceito foca

no comércio indireto de água, que acontece por este recurso estar embutido em muitos produtos e expande o panorama sobre o uso da água, apontando que este não consiste somente no consumo direto por seres humanos, mas também, no uso durante a produção, fabricação e transporte dos mais variados itens (Hoekstra & Chapagain, 2007; Carmo *et al.*, 2007; Bleninger & Kotsuka, 2015).

Passada uma década, surge outra expressão importante, o conceito de “pegada hídrica”, introduzido pelo engenheiro hídrico holandês Arjen Hoekstra, no ano de 2002, na reunião de peritos internacionais sobre o comércio de água virtual realizada em Delf, na Holanda (Silva *et al.*, 2013). Este conceito é mais amplo, pois considera outros aspectos relacionados ao uso da água, como características próprias da região, aspectos tecnológicos, poluição gerada, entre outros (Giacomin & Ohnuma, 2012). De modo que, possibilita o cálculo da Pegada Hídrica para uma pessoa, empresa ou estado, por exemplo, enquanto no cálculo da água virtual o resultado demonstra quantos litros de água foram usados no plantio ou fabricação de determinado item (Oliveira, 2015).

Ao avaliar a quantidade de água utilizada em todo o ciclo de vida de produtos e serviços por meio do cálculo da água virtual, percebe-se a interconexão entre as atividades humanas e os fluxos globais dos recursos hídricos (Montoya & Talamini, 2021). Dessa forma, integrar esses conhecimentos em estratégias e políticas de gestão hídrica ajuda na promoção do desenvolvimento sustentável e na conscientização sobre o uso responsável desse recurso vital para a vida humana e do planeta (Silva Neto *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2023).

Delineamento metodológico

A revisão sistemática de literatura estabelece um protocolo explícito, rígido e replicável para identificar, escolher, coletar e analisar pesquisas publicadas anteriormente. Por tanto, para este tipo de pesquisa é preciso determinar critérios de inclusão e exclusão e

descrever cada uma das etapas da coleta de dados nas bases científicas (Galvão & Pereira, 2014).

Este estudo se caracteriza como exploratório e bibliográfico. A pesquisa exploratória busca aprofundar os conhecimentos sobre determinada temática, aproximando o pesquisador do objeto de estudo. Os estudos bibliográficos focam materiais já publicados, como livros, artigos, dissertações e teses (Lakatos & Marconi, 2010).

Quanto ao método de análise dos resultados, o estudo é qualitativo. Conforme Galvão *et al.*(2017) a pesquisa qualitativa não usa o emprego de métodos estatísticos e possibilita a abordagem de aspectos mais subjetivos e a construção de resultados mais relevantes para problemas complexos.

As bases de dados usadas foram a *Web of Science*, Scopus e Google acadêmico e a busca foi feita no dia 29 de setembro de 2023. A busca consistiu na aplicação das etapas mostradas na Figura 1.

Figura 1. Etapas da seleção de artigos.



A primeira etapa consistiu na busca dos termos “*Virtual water*” e “*Agriculture*” no título, onde foram encontrados 12 artigos na *Web of Science*, 13 na Scopus e 38 no Google acadêmico. Destaca-se que optou por não usar os termos em qualquer parte do texto porque no Google acadêmico o resultado da busca com este filtro foi de 69.000 resultados.

Em seguida, aplicou o critério do idioma, mantendo artigos nos idiomas: português, inglês e espanhol.

A terceira etapa aplicou o critério referente ao tipo do texto, permanecendo apenas artigos científicos com aplicação prática. Na última etapa, foi avaliado se os artigos estavam disponíveis na íntegra e somente estes permaneceram, desta forma, foram selecionados 9 artigos da *Web of Science*, 3 da Scopus e 10 do Google acadêmico. Por fim, verificou-se a repetição de artigos entre as bases e a partir disso chegou-se ao total de 11 artigos selecionados para a presente revisão sistemática de literatura.

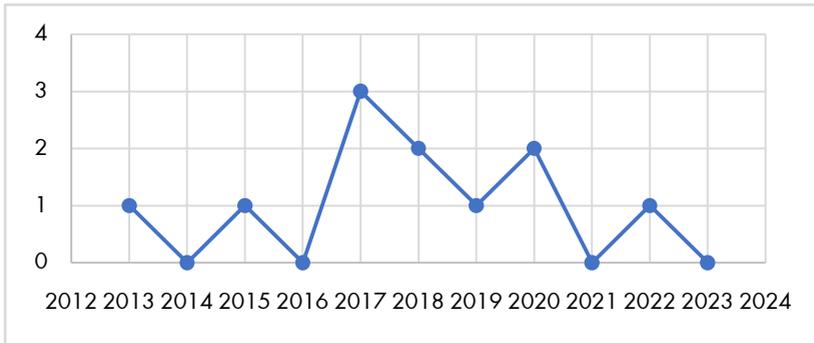
ANÁLISE DOS DADOS E RESULTADOS

A presente pesquisa optou por não delimitar a data de busca dos artigos, considerando que o objetivo é conhecer o estado da arte referente a água virtual no contexto da agricultura. Assim, considerando que o conceito foi apresentado em 1993, esperava-se encontrar publicações desde os anos 1990, porém, ao pesquisar pelos termos nas bases escolhidas e filtrando apenas por artigos disponíveis na íntegra, foi evidenciado que as publicações sobre a temática passaram a ser mais frequentes apenas nos últimos 10 anos.

Destaca-se que em alguns anos as publicações do período não estão disponíveis na íntegra, a exemplo de Novoa *et al.* (2023) que publicaram um artigo sobre os fluxos virtuais de água no hemisfério sul em 2023, no entanto ele não está disponível para leitura integral, o que inviabiliza a participação dele na revisão de literatura.

No Figura 2 é possível visualizar o ano das publicações utilizadas na revisão sistemática de literatura.

Figura 2. Quantidade de artigos por ano de publicação



Em 2012, ocorreu a Rio + 20, na Declaração final da Conferência foi reconhecido o direito à água e em razão dessa mobilização, se declarou o dia 28 de julho como o Dia Internacional da Luta Pelo Direito à Água (Corte, 2019). Tal reconhecimento pode ter influenciado o aumento de publicações a partir de 2012.

Em 2015 houve dois eventos que colaboraram para o aumento da discussão sobre a temática. O primeiro foi a Conferência das Partes 21 (COP 21) da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), onde foi assinado o Acordo de Paris com intuito de fortalecer a resposta global às mudanças climáticas (Eckel, Vieira & Pilau Sobrinho, 2022). O segundo foi a Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, realizada em setembro de 2015, na sede da Organização das Nações Unidas (ONU), este evento marcou a adoção oficial da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, que inclui os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Corte & Corte, 2016).

A ODS 6 foca em assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. Esta ODS está dividida em seis pontos: o acesso universal e equitativo a água potável; acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos; melhorar a qualidade

da água; aumentar a eficiência do uso da água em todos os setores; gestão integrada dos recursos hídricos em todos os níveis; e proteger e restaurar ecossistemas relacionados com a água. Portanto, percebe-se que a partir desta ODS, a gestão adequada da água passa a ser um objetivo assumido pelos países signatários da Agenda 2033 (ONU, 2023).

Referente a metodologia dos artigos, nove usaram método quantitativo, realizando cálculos referentes a água virtual e em alguns deles, também o cálculo da pegada hídrica. Desta forma, apenas dois artigos tiveram metodologia qualitativa (Toulios *et al.*, 2013; Ray *et al.*, 2018). No estudo de Toulios *et al.* (2013) foi organizado um grupo de trabalho específico para avaliar a Ação 1106 “*Assessment of EUROpean AGRiculture WATER use and trade under climate change (EURO-AGRIWAT)*”¹ da *European Cooperation in Science and Technology (COST)*. Enquanto na pesquisa de Ray *et al.* (2018) foi feito o relato do acompanhamento das discussões do workshop “*Co-operative Research Programme: Biological Resources Management for Sustainable Agricultural Systems on virtual water, agriculture, and trade*”²

Para análise do conteúdo dos artigos, os artigos foram agrupados conforme o esquema disponível na tabela 1.

¹ Avaliação de Utilização e comércio da água usada na agricultura no contexto das alterações climáticas.

² Programa de Pesquisa Cooperativo: Gestão de Recursos Biológicos para Sistemas de Agricultura Sustentável, sobre água virtual, agricultura e comércio.

Tabela 1. Agrupamento dos artigos selecionados para a revisão de literatura

Divisão quanto a metodologia	Local de aplicação	Autores
Metodologia qualitativa	Indefinido	Toulios <i>et al.</i> (2013)
	Indefinido	Ray <i>et al.</i> (2018)
Metodologia quantitativa	China	Ma e Ma (2017)
		Hu <i>et al.</i> (2019)
		Cai <i>et al.</i> (2020)
		Wang <i>et al.</i> (2022)
	Índia	Katyaini e Barua (2017)
		Chalisgaonkar <i>et al.</i> (2018)
	Oriente médio	Taloziet <i>et al.</i> (2015)
		Trottier e Perrier (2017)
		Nooriet <i>et al.</i> (2020)

Os artigos foram separados primeiramente considerando a metodologia quantitativa ou qualitativa. A abordagem qualitativa é usada em dois artigos e as quantitativas totalizam 9 artigos. Além disso, considerando que os artigos com metodologia quantitativa apresentam similaridade quanto aos locais de aplicação, estes foram subdivididos em 3 grupos: 1) Estudos realizados na China; 2) Estudos realizados na Índia e 3) Estudos realizados no Oriente Médio.

ESTUDOS QUALITATIVOS

Os estudos qualitativos não apresentam um campo de estudo delimitado, pois Toulios *et al.* (2013) buscou analisar o papel dos dados gerados por satélite nos modelos e índices relacionados a análise do comércio de água virtual. Já Ray *et al.* (2018) relataram os resultados de

debates ocorridos em um workshop sobre água virtual em produtos agrícolas, apoiado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) na Universidade de Nebraska-Lincoln em setembro de 2016, que contou com pesquisadores de vários países.

Toulios *et al.* (2013) avaliou como o sensoriamento remoto como uma ferramenta útil para o acompanhamento do comércio de água virtual. Foi avaliado como as fontes de sensoriamento remoto podem alimentar os bancos de dados das variáveis usadas no cálculo da pegada hídrica e da água virtual, por meio da cobertura temporal (duração da série temporal) e resolução temporal (intervalo entre observações) e da cobertura espacial (área abrangida: bacia hidrográfica, região, nação, continente) e resolução espacial (detalhamento da informação). Pode-se concluir que a detecção remota fornece novas ferramentas para a avaliação global da pegada hídrica e da água virtual e representa uma abordagem inovadora para a gestão regional e para o mapeamento global da utilização da água.

O artigo contribui para o desenvolvimento rural sustentável ao destacar a potencialidade do uso do sensoriamento remoto para mapear irrigações em nível regional e global, bem como ao fornecer dados sobre precipitação, umidade do solo, cobertura de neve e evapotranspiração da vegetação. Essas informações são cruciais para compreender o ciclo da água e sua relação com a pegada hídrica e o comércio de água virtual.

O outro estudo com abordagem qualitativa foi desenvolvido por Ray *et al.* (2018), que fizeram um compilado dos resultados do debate sobre as implicações das políticas do comércio de água virtual ocorridas durante o workshop sobre agricultura sustentável, água virtual e comércio. Os resultados apontam uma série de ações a serem implementadas para tornar a agricultura mais sustentável e o comércio de água virtual mais eficiente.

O primeiro aspecto que deve ser destacado é a transparência de políticas e práticas dos governos, de modo a possibilitar um bom acompanhamento dos dados, além de um maior comprometimento com a redução dos impactos ambientais por meio de políticas para gerir melhor os aquíferos e as cadeias de abastecimento alimentar que depende deles. Os pesquisados enfatizam que isto exige uma abordagem integrada e do desenvolvimento de tecnologias capazes de serem implementadas sem a necessidade de investimentos altos, que muitos países não têm condições de financiar (Ray *et al.*, 2018).

Outro fator discutido foi a falta de consciência dos consumidores em relação a água virtual, de modo que a maioria não percebe que ao compram produtos importados, estão efetivamente terceirizando o esgotamento da água em outro país. Destacou-se também que muitos fabricantes não têm a preocupação com este aspecto, por não terem uma cobrança dos governos por meio de legislações que priorizem a eficiência no uso da água (Ray *et al.*, 2018).

A questão do estresse hídrico também foi discutida, já que tem aumentado nos últimos anos e tem projeção de que a necessidade de água cresça ainda mais nas próximas décadas. As regiões agrícolas sofrem com as secas e muitas vezes não tem acesso a tecnologias, como sistemas de irrigação, o que pode comprometer sua estabilidade financeira, já que impacta na sua renda proveniente da agricultura. Portanto, para o alcance do desenvolvimento rural sustentável se faz necessário pensar a gestão hídrica do ponto de vista ambiental, social e econômico, pois não basta alcançar o pilar ambiental se isso inviabiliza a permanência das famílias no campo (Ray *et al.*, 2018).

Todos estes pontos são importantes e dependem de ações governamentais para serem efetivamente colocados em prática, conforme destacam os autores. É necessário primeiramente o real comprometimento dos países, o que precisa vir acompanhado por ações de conscientização e regulamentos que levem as empresas e os agricultores a usarem a água com mais eficiência e menor poluição. Segundo, é preciso estabelecer estratégias para que as regiões com

menos água tenham formas de se manter nos períodos de seca, o que requer investimento em tecnologia e disposição dos países desenvolvidos em financiar parte da implementação destes projetos (Ray *et al.*, 2018).

ESTUDOS QUANTITATIVOS

Os estudos quantitativos que compõem esta revisão sistemática de literatura realizaram o cálculo da água virtual com base em diferentes metodologias, que serão apresentadas ao longo da discussão dos resultados destes trabalhos.

Considerando que os estudos foram desenvolvidos em regiões ou países específicos, optou-se por agrupá-los de acordo com a região de abrangência. Assim, o primeiro agrupamento avalia os quatro estudos realizados na China, o segundo agrupamento foca nos dois artigos que estudaram a Índia e o terceiro agrupamento é composto por pesquisas realizadas no Oriente Médio, sendo dois destes na Cisjordânia e um no Irã.

Estudos quantitativos realizados na China

Os estudos de Hu *et al.* (2019) e Cai *et al.*(2020) são artigos resultantes da mesma pesquisa. Esta pesquisa criou dois cenários: um deles focado unicamente no lucro e outro levou em consideração a água virtual envolvida nos processos agrícolas. Foram usadas quatro fórmulas a fim de mensurar a Receita Líquida dos produtos agrícolas, a lacuna de recursos hídricos; o volume da água virtual comercializada e a economia de água da região.

A partir dos cálculos, Hu *et al.*(2019)os pesquisadores chegaram à conclusão de que a estratégia de maior eficiência no uso da água virtual poderia ter impacto positivo na alocação e utilização de recursos hídricos pelos comércio inter-regional de produtos agrícolas da China, pois as regiões com déficit de água conseguiram economizar água, alterando a dinâmica de exportação líquida de água para se

tornarem regiões que economizam água. No entanto, esta estratégia causaria grande impacto negativo na receita líquida destas regiões.

Cai *et al.* (2020) complementam que a busca pela maximização do lucro sem considerar aspectos ambientais, como a maior eficiência no fluxo de água virtual, é prejudicial para o país a longo prazo, pois pode comprometer o abastecimento de água em determinadas regiões. Desta forma, compreender como o comércio de água virtual entre diferentes regiões afeta a gestão e alocação dos recursos hídricos é fundamental para o desenvolvimento de políticas que visem o desenvolvimento rural sustentável. É preciso buscar uma solução mais abrangente que leve em consideração múltiplos objetivos, como segurança hídrica, ganhos sociais e economia, para lidar com os desafios associados ao comércio de água virtual na agricultura.

Enquanto Hu *et al.* (2019) e Cai *et al.* (2020) observaram os fluxos de água entre as regiões da China, o estudo de Ma e Ma (2017) focou na província de Jilina teve como objetivo quantificar o uso de virtual de água na agricultura e pecuária e fornecer uma avaliação abrangente da evolução de sua estrutura espaço-temporal. Neste estudo foi usado o software CROPWAT 8.0 para calcular o uso da água virtual nas principais culturas da província de Jilin na China (arroz, milho, soja, girassol, tabaco e produção agropecuária de porco, gado, ovelhas e ovos).

Os resultados mostram que a proporção de Água Virtual Total (TVW) da agricultura apresenta uma tendência de crescimento gradual enquanto a pecuária diminui durante o período de estudo, mas ainda apresenta um alto índice de utilização de água. Nos últimos anos, a demanda por grãos na indústria alimentícia e na pecuária aumentou constantemente, de modo que Jilin aumentou continuamente a área semeada de grãos. Até 2014, a produção de grãos atingiu 35,33 milhões de toneladas, o que levou ao evidente aumento do TVW agrícola (Ma & Ma, 2019).

O estudo conclui que para garantir uma oferta adequada de cereais e aumentar os rendimentos agrícolas, é necessário otimizar a estrutura agrícola e a distribuição da produção de grãos de acordo com a demanda. É crucial que regiões com escassez de água importem produtos intensivos no uso de água de áreas com abundância deste recurso para garantir a segurança hídrica e alimentar, mas os autores ressaltam também que a decisão sobre a estrutura agrícola não pode ser baseada apenas no fator água, já que outros aspectos como as condições de plantio, hábitos dos agricultores, cultura e mudanças climáticas precisam ser considerados para que as estratégias propostas sejam colocadas em prática e assim, haja um avanço no desenvolvimento rural sustentável das diferentes regiões da China (Ma & Ma, 2019).

O quarto estudo realizado na China foi feito por Wang *et al.* (2022) e focou a cidade de Zhangye, que tem abundância de água por estar localizada próximo ao rio Heihe, na bacia do noroeste da China. A pesquisa avaliou e comparou os fluxos virtuais de água entre vários setores de Zhangye entre os anos de 2012 e 2017. Como base nesta análise, os autores apontaram as tendências de necessidade de água na agricultura para o período 2020-2050 sob diferentes condições.

A metodologia do estudo se baseou em um modelo de entrada-saída do consumo de água, que forma uma matriz para descrever a relação quantitativa entre insumos e produtos em vários setores econômicos ao longo do tempo. Os resultados mostraram que o setor de plantio contribuiu diretamente no consumo total de água com maior coeficiente direto no ano de 2012, enquanto o setor de fabricação de produtos alimentícios e processamento de tabaco tem a maior proporção do consumo indireto de água. Foi possível verificar que a intensidade média de consumo de água de todos os setores diminuiu 22% durante 2012-2017, indicando uma maior eficiência na utilização de água na cidade de Zhangye. Desta forma, este estudo demonstra um avanço na gestão da água, o que possibilitou a diminuição do uso mesmo sem haver diminuição na produção agrícola (Wang *et al.*, 2022).

A metodologia usada por Wang *et al.*(2022) permitiu projetar um cenário dos fluxos de água virtual de 2020 a 2050 a partir dos dados de 1980 a 2020. Percebeu-se que o plantio de milho em grande escala causou uma tendência crescente na necessidade total de água e a partir da projeção realizada, os resultados indicam que a intensidade da necessidade de água tende a aumentar após 2020. Além disso, o estudo destaca que os eventos climáticos extremos tendem a ocorrer com maior frequência devido ao aumento da temperatura verificada nos últimos anos.

A partir disso, o estudo sugere redução no plantio de milho e outros cultivos intensivos em água, o que poderia aliviar a pressão sobre os recursos hídricos, além disso, a eficiência da irrigação agrícola pode ser melhorada por meio de tecnologias de irrigação mais avançadas. Tais medidas precisam ser pensadas de forma ampla a fim de colaborar para a melhor gestão dos recursos naturais, mas ao mesmo tempo não prejudicar o âmbito econômico, pois somente assim pode-se conseguir alcançar o desenvolvimento rural sustentável (Wang *et al.*, 2022).

Os estudos realizados na China avaliaram regiões diferentes do país, mas são unânimes em apontar o aumento da necessidade de água à medida que aumenta a demanda por alimentos. As pesquisas de Hu *et al.* (2019), Cai *et al.* (2020), Ma e Ma (2017) e Wang *et al.*(2022) revelam a complexidade envolvida na alocação de recursos hídricos em diferentes setores econômicos e geográficos. No entanto, Hu *et al.* (2019) e Cai *et al.* (2020) salientam também que é necessário observar a lucratividade da produção de grãos e buscar uma solução hídrica que não comprometa a renda dos trabalhadores rurais.

Estudos quantitativos realizados na Índia

A Índia foi foco de estudo de dois trabalhos: Katyaini e Barua (2017) avaliaram os fluxos interestaduais de água virtual incorporados em grãos alimentares e Chalisgaonkar *et al.*(2018) tiveram como campo de estudo o mercado de água virtual na cidade de Delhi. No estudo de Katyaini e Barua (2017) foi realizada a aplicação do método de

Hoekstra e Hung (2002) que se baseia nos fluxos de água virtual incorporados nos grãos alimentícios (p); exportados de cada estado (s), em um ano(t). Enquanto Chalisgaonkar *et al.*(2018) usaram múltiplas fontes de dados para calcular a importação e exportação de água virtual para Delhi.

No estudo de Katyaini e Barua(2017) o objetivo foi avaliar os fluxos interestaduais de água virtual incorporados em grãos alimentares por meio de três parâmetros: o primeiro conjunto de dados é o movimento interestadual de grãos alimentícios na Índia para o período de avaliação (1996–2014); o segundo conjunto de dados refere-se à água virtual de produção de grãos alimentares em vários estados da Índia; e o terceiro conjunto de dados é referente ao rendimento dos grãos alimentares para o período de avaliação. A partir disso, foi estimada a média da água virtual para dois períodos 1996–2005 e 2005–2014.

O resultado da análise mostra que regiões altamente carentes de água exportam para outras regiões igualmente carentes, demonstrando uma inconsistência dos fluxos de água virtual em relação a necessidade hídrica destas regiões. Embora tenha havido melhorias na produtividade agrícola e redução do consumo de água por unidade de produção, a sustentabilidade do uso da água em estados altamente carentes de água no norte, oeste e sul da Índia se mostra um grande desafio. Isso é um indicativo da necessidade de alinhar a produção agrícola com as condições de disponibilidade de água, de modo que regiões com mais água devem produzir produtos intensivos em água para exportação (Katyaini & Barua, 2017).

Os autores apontam a existência de desafios na interface entre ciência e política, evidenciando a necessidade de aprimorar a gestão da água no planejamento econômico e político. Esta mudança é imprescindível para enfrentar a escassez hídrica de forma sustentável em nível nacional e estadual, possibilitando assim, a criação de condições para o alcance do desenvolvimento rural sustentável nestas regiões (Katyaini & Barua, 2017).

O estudo realizado em Delhi por Chalisgaonkar *et al.*(2018) visou analisar o mercado de água virtual na cidade de Delhi na Índia. Por meio deste estudo percebeu-se que para regiões com escassez de água, poderia ser uma oportunidade para alcançar segurança através da importação de produtos com utilização intensiva de água em vez de produzir internamente todos os produtos que necessitam de água. Por outro lado, as regiões ricas em água poderiam lucrar com a abundância de recursos hídricos, produzindo produtos com utilização intensiva de água para exportação e incorporando o custo da água virtual no preço de venda.

Os resultados possibilitaram a identificação das *commodities* com maior necessidade de água, fornecendo informações que podem ser usadas pelos governantes para desenvolver estratégias de melhoria para tornar a gestão no uso da água mais eficiente. Os autores destacam que o comércio virtual de água entre nações poderia, portanto, ser idealmente usado como um instrumento para superar a distribuição espacial desigual de recursos hídricos em todo o mundo e melhorar a eficiência global do uso da água (Chalisgaonkar *et al.*,2018).

A partir disso, entende-se que pensar o desenvolvimento rural sustentável requer um comprometimento das nações em desenvolver parcerias comerciais internacionais pensando não somente no aspecto econômico, mas também na gestão sustentável dos recursos naturais. Desta forma, passa-se a reconhecer a interconexão entre vários fatores que afetam o desenvolvimento sustentável, como água, agricultura, comércio global, políticas governamentais e expectativas dos consumidores.

Os artigos sobre a Índia ressaltam a importância de temática, em especial para este país, que tem uma das maiores populações mundiais e já sofre com o estresse hídrico em algumas áreas. Além disso, a precariedade de infraestrutura impossibilita a adequada gestão dos recursos hídricos e o comércio de água virtual ainda é pouco considerado no momento de se pensar políticas públicas.

Estudos quantitativos realizados no Oriente Médio

Neste agrupamento são abordados três estudos, sendo dois deles realizados na região da Cisjordânia (Talozi *et al.*, 2015; Trottier & Perrier, 2017) e um no Irã (Noori *et al.*, 2020).

O estudo de Talozi *et al.* (2015) buscou examinar a água virtual incorporada nos produtos agrícolas da Cisjordânia. O cálculo do uso da virtual da água foi feito para frutas, legumes e culturas arvenses, além disso, também foi avaliado o uso de energia na produção destes itens. Neste estudo aplicou-se a divisão de água azul e água verde, provenientes do conceito de pegada hídrica, sendo a água azul definida como a água de superfície e águas subterrâneas e a água verde, se refere a quantidade de chuva durante a estação de crescimento das culturas. Assim, foi usado o cálculo da Água virtual a partir de dados sobre precipitação, padrões de colheita, rendimentos e necessidades de água no nível distrital.

O estudo mapeou a água virtual azul e verde na Cisjordânia e o uso de água virtual verde e azul para as principais culturas agrícolas do país. Por meio desta análise, percebeu-se que o alto uso de água subterrânea (água azul) nas regiões desérticas, o que pode trazer escassez deste recurso futuramente. Desta forma, os autores sugerem melhorar a distribuição da água verde para que ela passe a ser usada nestas regiões, e sugeriu ainda, a expansão do uso da energia solar, considerando que a luz solar é abundante (Talozi *et al.*, 2015).

A pesquisa destacou, também, que o fornecimento per capita de água para todos os usos em 2013 fosse inferior a 15% do que é recomendado pelas normas internacionais, o que demonstra que há extrema limitação dos recursos hídricos nesta região e que país enfrenta uma grande pressão sobre a gestão deste recurso, portanto, abordar a escassez de água é um desafio fundamental para o desenvolvimento rural sustentável (Talozi *et al.*, 2015).

O estudo de Trottier e Perrier (2017) focou na análise do fluxo real da água da produção de pepino. Foi feita a aplicação do método de

Hoekstra e Pendurado (2005), que usa a Média Específica de Água (SWD) para uma determinada cultura (c) em um determinado estado (n), que é calculada dividindo a “necessidade de água” da cultura (CWR) com o rendimento da cultura (CY). A partir deste método foi possível verificar a quantidade média de água virtual para uma tonelada de pepino em quatro aldeias localizadas nos três principais aquíferos da Cisjordânia.

A análise da água virtual retrata que os pequenos agricultores palestinos são usuários ineficientes da água, o que ajuda a legitimar o agronegócio orientado para a exportação. As próprias políticas públicas incentivam a exportação, evidenciando que o comércio internacional de água virtual não é considerado pelos governantes no momento de estabelecer políticas relacionadas a agricultura. Desta forma, os autores indicam que os mecanismos sociais e políticos relacionados ao uso da água precisam ser acompanhados e que ao se pensar políticas é preciso considerar a realidade de cada aldeia, pois cada uma tem uma história distinta que molda a sua gestão da água e posse da terra (Trottier & Perrier, 2017).

O último estudo realizado na região do Oriente Médio é de Nooriet *al.* (2020), que desenvolveram um estudo no Irã a fim de examinar a água virtual como política básica de gestão de recursos hídricos, juntamente com reformas lógicas na estrutura da agricultura, segurança alimentar a longo prazo e o consumo sustentável de água. Este estudo foi limitado à área da planície de Marvdasht e à área de captação, assim, foi realizado o cálculo da água virtual considerando as tecnologias empregadas na região para a produção de cada produto.

Os resultados mostraram que feijões, frutas secas (pistácios e nozes) e oleaginosas são produtos de alto consumo do ponto de vista da quantidade de água virtual. Também mostraram que o comércio de água virtual no Irã foi pouco avaliado durante as últimas duas décadas, e que os esforços recentes partem da busca pela autossuficiência na produção de trigo, que vem colocando muita pressão sobre os recursos

hídricos interiores, já que tem grande consumo de água no processo de plantio (Noori *et al.*, 2020).

Por meio da análise dos estudos, pode verificar que os aspectos qualitativos ressaltam a importância da conscientização, transparência e políticas governamentais integradas para promover práticas sustentáveis. Isso se alinha diretamente com o desenvolvimento rural, pois essas medidas podem impulsionar comunidades rurais a adotar técnicas mais eficientes de uso da água, promovendo a conservação e a gestão inteligente dos recursos.

Já os estudos quantitativos oferecem um panorama detalhado das interações entre comércio, produção agrícola e demanda por água. Estas informações são fundamentais para orientar políticas que equilibrem a necessidade de produção alimentar com a preservação dos recursos hídricos. Esse equilíbrio é crucial para o desenvolvimento sustentável das áreas rurais, permitindo a continuidade das atividades agrícolas sem comprometer a qualidade e disponibilidade da água para as gerações futuras.

CONTRIBUIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO RURAL SUSTENTÁVEL

A partir da análise qualitativa realizada nos estudos que compõem a revisão sistemática de literatura, foi possível elaborar a Matriz de amarração dos resultados, que tem como objetivo demonstrar como cada artigo contribuiu para o desenvolvimento rural sustentável e apresentou um avanço no conhecimento sobre comércio de água virtual na agricultura. A Matriz pode ser verificada na tabela 2.

Tabela 2. Matriz de amarração de resultados

Estudos analisados	Síntese das contribuições	Contribuições para o Desenvolvimento Rural Sustentável	Avanço do conhecimento
Ma e Ma (2017)	Os resultados mostram que a proporção de água virtual total da agricultura apresenta uma tendência de crescimento gradual devido au aumento na demanda por grãos, enquanto a pecuária diminui durante o período de estudo,mas ainda apresenta um alto índice de utilização de água.	Identifica a escassez de recursos hídricos como um fator crucial que limita o desenvolvimento econômico das regiões agrícolas, especialmente nas regiões do norte da China, o que cria disparidades econômicas entre o norte e o sul do país.	Destaca a necessidade de ajustar a estrutura agrícola e pecuária de acordo com as condições locais dos recursos hídricos e dos aspectos econômicos. Recomenda-se que regiões com escassez de água plantem culturas que demandem menos água, enquanto importam produtos agrícolas e pecuários com alta quantidade de água virtual.
Hu <i>et al.</i> (2019)	O estudo mostra que uma estratégia eficiente de comércio de água virtual poderia ter impacto positivo na alocação e utilização de recursos hídricos pelo comércio inter-regional de produtos agrícolas da China. No entanto isto represente uma diminuição na receita líquida atual da produção agrícola.	Ao elaborar dois cenários, um focando a maior eficiência na gestão da água, e outro focando na maior lucratividade, foi possível evidenciar como o desenvolvimento sustentável precisa ser pensado a partir do tripé ambiental, social e econômico. Somente equilibrando a proteção dos recursos naturais como a viabilidade econômica de viver no campo, pode-se contemplar o aspecto social da sustentabilidade.	Destaca a importância da estratégia de água virtual para influenciar a alocação e utilização dos recursos hídricos no comércio inter-regional de produtos agrícolas na China. Isso implica a capacidade de transferir virtualmente a água incorporada nos produtos agrícolas de uma região para outra, aliviando a pressão sobre regiões mais escassas em água.

Estudos analisados	Síntese das contribuições	Contribuições para o Desenvolvimento Rural Sustentável	Avanço do conhecimento
<i>Cai et al.</i> (2020)	Os resultados mostram que a otimização da agricultura e do comércio inter-regional interno pode ter um impacto favorável na alocação e utilização dos recursos hídricos.	A busca pela maximização do lucro sem considerar aspectos ambientais, como a maior eficiência no fluxo de água virtual, é prejudicial para o país em longo prazo, pois pode comprometer o abastecimento de água em determinadas regiões, piorando ainda mais o estresse hídrico já existente.	A análise demonstra como as regiões com déficit de água conseguiram economizar água, alterando a dinâmica de exportação líquida de água para se tornarem regiões que economizam água. Isso reflete uma melhoria na eficiência do uso da água nas regiões mais afetadas pela escassez.
<i>Wang et al.</i> (2022)	Os resultados mostraram que o setor de plantio contribuiu diretamente com a maior parte do consumo total de água. A intensidade do consumo de água de todos os setores diminuiu, em média, 22% durante 2012-2017, indicando uma eficiência crescente na utilização da água nas indústrias econômicas.	Destaca-se a necessidade de uma gestão adaptativa dos recursos hídricos em Zhangye, incluindo estratégias diferenciadas para diferentes setores econômicos e o desenvolvimento de medidas para lidar com a crescente escassez de água em meio às mudanças climáticas. A cidade de Zhangye pode ser estudada como um exemplo de gestão hídrica, considerando a crescente eficiência verificada.	O estudo aponta a falta de métodos universais para determinar o comércio de água virtual em nível de cidade e a necessidade de considerar mais setores, além da agricultura, ao analisar o impacto das mudanças climáticas no uso da água.

Estudos analisados	Síntese das contribuições	Contribuições para o Desenvolvimento Rural Sustentável	Avanço do conhecimento
Katyaini e Barua (2017)	O estudo mostra que a produção de cereais e os fluxos de água virtual são impulsionados pela maior capacidade agrícola e pelo tamanho da população. Os principais fluxos são de zonas/estados de maior para menor produtividade.	Evidência a necessidade de alinhar a produção agrícola com as condições de disponibilidade de água, sugerindo que regiões com mais água devem produzir produtos intensivos em água para exportação, podendo fomentar a economia local. Destaca a importância das políticas estaduais na gestão dos recursos hídricos.	Sugere a inclusão de setores além da agricultura, como manufatura e serviços, na análise de fluxos de água virtual para obter uma visão holística das demandas de água na economia.
Chalishaonkar et al. (2018)	Muitas regiões poupam os seus recursos hídricos importando produtos com uso intensivo de água, enquanto faz a exportação de <i>commodities</i> que são menos intensivas no uso da água. A reorganização do comércio de água virtual em nível global pode ser um instrumento para superar a distribuição espacial desigual de recursos hídricos.	Fornece um panorama abrangente dos desafios enfrentados pela agricultura em relação à gestão da água e oferece perspectivas importantes para moldar políticas, práticas e atitudes para alcançar um desenvolvimento rural mais sustentável. Destaca não apenas os problemas, mas também aponta caminhos para abordar essas questões, incluindo a necessidade de políticas eficazes, tecnologias inovadoras e conscientização do consumidor.	Ressalta a necessidade de dados precisos e transparência na gestão dos recursos hídricos. Isso é crucial para entender e prever o impacto das práticas agrícolas na disponibilidade de água, permitindo a implementação de estratégias mais eficazes e sustentáveis.

Estudos analisados	Síntese das contribuições	Contribuições para o Desenvolvimento Rural Sustentável	Avanço do conhecimento
Talozi <i>et al.</i> (2015)	Os resultados destacam as vantagens do uso de água azul no Vale do Jordão e de aproveitar mais água verde disponível nos planaltos, e enfatizam o alto uso de água subterrânea nas regiões desérticas, sinalizando a necessidade de controlar a extração e aproveitar a energia solar destas regiões.	Destaca-se a comparação entre diferentes regiões de Cisjordânia em termos de uso da água e agricultura. A região do Vale do Jordão é identificada como uma área mais propícia para a agricultura sustentável devido à disponibilidade de água superficial e ações menos intensivas de bombeamento de água, que são necessárias nas regiões desérticas.	Apresenta informações sobre a salinização do solo devido ao uso inadequado de água tratada e de fertilizantes. Destaca o potencial de energia solar e culturas mais resilientes à seca nas regiões desérticas.
Trottier e Perrier (2017)	A análise da água virtual retrata os pequenos agricultores palestinos como usuários ineficientes da água, o que ajuda a legitimar o agronegócio orientado para a exportação.	Enfatiza a importância de considerar as interações complexas e os processos de tomada de decisão que influenciam o uso eficiente da água. Ao explorar a relação entre a concepção do conceito de água virtual e a estrutura de dominação, oferece uma compreensão mais profunda do contexto em que os pequenos agricultores atuam.	Questiona a validade das políticas baseadas em cálculos padronizados de fluxos internacionais de água virtual, ressaltando que tais abordagens ignoram como os pequenos agricultores estão inseridos na redistribuição desses fluxos hídricos.

Estudos analisados	Síntese das contribuições	Contribuições para o Desenvolvimento Rural Sustentável	Avanço do conhecimento
Noori <i>et al.</i> (2020)	Enfatizam a alta dependência da agricultura em relação aos recursos hídricos, identificando cultivos de alto consumo de água e sugerindo estratégias para reduzir essa dependência, como a reutilização de água residual, dessalinização da água salgada e conservação da água em diferentes setores econômicos.	O estudo analisou os impactos sociais e econômicos das decisões relacionadas ao comércio de água virtual, incluindo o efeito no emprego na agricultura devido às importações de água virtual. Desta forma, destaca-se que apenas focar na economia de água, não é o suficiente, pois é preciso levar em consideração que a agricultura é a fonte de renda dos moradores destas regiões, que precisam da água para seu consumo e para manter sua atividade econômica.	Destaca-se a necessidade de integrar o comércio de água virtual nas políticas hídricas. A abordagem proposta sugere que o comércio de água virtual pode ser uma solução para gerir a escassez de água não apenas no Irã, mas também em outros países do Oriente Médio.
Toulios <i>et al.</i> (2013)	A detecção remota fornece novas possibilidades de avaliação da pegada hídrica global representa uma abordagem inovadora para a gestão regional e para o mapeamento global da irrigação, permitindo estimar o uso de água verde e azul.	Destaca a promessa do sensoriamento remoto na avaliação do pegado hídrica, apontando para a possibilidade de melhorias na compreensão e gestão do uso da água na agricultura.	Identifica dados de satélite úteis para determinar a pegada hídrica, que incluem dados sobre precipitação, umidade do solo, cobertura de neve e evapotranspiração da vegetação.

Estudos analisados	Síntese das contribuições	Contribuições para o Desenvolvimento Rural Sustentável	Avanço do conhecimento
Ray <i>et al.</i> (2018)	O debate realizado pelos especialistas apontam vários aspectos que precisam ser considerados na gestão dos recursos hídricos, como o estresse hídrico, a transparência de políticas e práticas dos governos e a conscientização dos consumidores.	É necessário o real comprometimento dos países, o que precisa vir acompanhado por ações de conscientização e regulamentos, que levem as empresas e os agricultores a usarem a água com mais eficiência e menor poluição, e por estratégias para que as regiões com menos água tenham formas de se manter nos períodos de seca, o que requer investimento em tecnologia.	O contrapeso necessário para gestão eficiente da água pode ser uma combinação de tecnologia e transparência de políticas e práticas, possibilitadas por melhores dados e análises, além de mudanças significativas nas atitudes.

Os estudos qualitativos se destacam pela sua amplitude, explorando aspectos complexos da gestão da água virtual, desde o papel do sensoriamento remoto (Toulios *et al.*, 2013) até as implicações das políticas de comércio (Hu *et al.*, 2019; Cai *et al.*, 2020). Essas análises ressaltam a necessidade de transparência, conscientização dos consumidores e ações governamentais para lidar com questões cruciais, como estresse hídrico e sustentabilidade agrícola. Por outro lado, os estudos quantitativos oferecem uma visão mais detalhada dos fluxos de água virtual em regiões específicas, como China (Ma e Ma, 2017; Hu *et al.*, 2019; Cai *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2022), Índia (Katyaini e Barua, 2017; Chalisgaonkar *et al.*, 2018) e Oriente Médio (Talozi *et al.*, 2015; Trottier e Perrier, 2017; Noori *et al.*, 2020). Eles delineiam a complexa relação entre o comércio de produtos agrícolas e a utilização de recursos hídricos, destacando as consequências econômicas e ambientais desses processos.

Na China, os estudos revelam a interdependência entre a produção de grãos e a demanda crescente por água, apontando para a necessidade

de estratégias que equilibrem a segurança hídrica e a lucratividade (Hu *et al.*, 2019; Cai *et al.*, 2020). Já na Índia e no Oriente Médio, as pesquisas destacam a importância crucial das políticas de água e do comércio de água virtual para enfrentar desafios de escassez hídrica e distribuição desigual de recursos (Katyaini, Barua, 2017, Trottier e Perrier, 2017). Esses estudos quantitativos fornecem reflexões valiosas sobre a gestão da água virtual em contextos específicos, identificando oportunidades e desafios para a segurança alimentar e o uso sustentável da água.

Na tabela 3 são apresentadas as variáveis em comum abordadas nos artigos que compuseram esta revisão sistemática de literatura.

Tabela 3. Variáveis em comum

Autores	Transparência nos dados	Políticas Públicas	Impactos Econômicos	Emprego de tecnologias	Conscientização dos consumidores	Segurança hídrica	Sensoriamento remoto	Comércio exterior
Ma e Ma (2017)		x	x	x				
Hu <i>et al.</i> (2019)		x	x	x				
Cai <i>et al.</i> (2020)		x	x	x		x		
Wang <i>et al.</i> (2022)		x	x	x		x		x
Katyaini e Barua(2017)	x	x	x	x		x		
Chalisgaonkar <i>et al.</i> (2018)		x	x	x		x		x
Talozia <i>et al.</i> (2015)			x	x			x	
Trottier e Perrier (2017)		x	x	x		x		x
Noori <i>et al.</i> (2020)		x	x	x	x	x		x
Toulios <i>et al.</i> (2013)	x		x				x	
Ray <i>et al.</i> (2018)	x	x	x	x	x	x		

Todos os estudos que compuseram esta revisão sistemática de literatura abordam o papel essencial das políticas públicas, a qual

impacta em vários outros aspectos que foram trabalhados pelos autores, como a economia, o comércio exterior, segurança hídrica e emprego de tecnologias. Ainda, alguns estudos destacam a necessidade de transparência nos dados, defendendo o compartilhamento claro e objetivo das informações (Toulios *et al.*, 2013, Katyaini & Barua, 2017, Ray *et al.*, 2018).

Os estudos têm como resultado comum a necessidade de considerar o comércio de água virtual na elaboração de políticas públicas voltadas para o desenvolvimento sustentável dos países estudados. Além disso, a partir dos estudos quantitativos fica claro que o comércio de água virtual é inerente ao comércio de *commodities* agrícolas, pois em maior ou menor proporção, há a necessidade de água para que as plantas cresçam. Sendo assim, é preciso levar em consideração este aspecto no momento da formulação do preço, o que por si só já é complexo, considerando que o preço das *commodities* é regulado pelo mercado internacional.

Percebe-se também a importância do debate sobre o estresse hídrico, que vem afetando a população de várias regiões do mundo e que podem ser minimizados a partir de uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos e do emprego de tecnologias como irrigação e dessalinização da água. Neste sentido, compreende-se que a gestão da água impacta não somente o meio ambiente, mas também as pessoas que precisam deste recurso em quantidade suficiente para ter qualidade de vida, demonstrado assim, sua importância no âmbito social.

No caso da zona rural, a agricultura e pecuária são as principais atividades econômicas, então o uso da água vai além da necessidade pessoal, pois é a partir deste recurso que os agricultores conseguirão bons resultados no plantio de grãos e hortaliças. Os governos têm o desafio de desenvolver políticas públicas para melhorar a gestão da água no meio rural e ao mesmo tempo, proporcionar incentivos para a permanência dos agricultores no campo.

Outro apontamento que merece destaque é a necessidade de dados mais claros por parte dos governos, para que seja possível, de fato, realizar um mapeamento e um acompanhamento do comércio de água virtual a nível mundial. Para isso, podem-se usar ferramentas de sensoriamento remoto a fim de levantar informações sobre precipitação, cobertura de neve, umidade do solo, evapotranspiração da vegetação e ainda, para mapear irrigações em nível regional e global.

Por fim, é importante que eventos como o workshop sobre água virtual em produtos agrícolas que aconteceu na Universidade de Nebraska-Lincoln e foi apoiado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Estes eventos fomentam a discussão sobre a temática e possibilitam a apresentação de novas abordagens e novas tecnologias relacionadas a temática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo realizar uma revisão do debate científico sobre água virtual no contexto da agricultura, explorando suas implicações para o desenvolvimento rural sustentável. A revisão sistemática revelou que a temática ainda é pouco debatida, considerando a baixa quantidade de artigos encontrados com os termos “água virtual” e “agricultura” no título de artigos em português, inglês e espanhol. A discussão sobre a temática acaba sendo mais difundida em países com características geográficas áridas e semiáridas, pois nestas regiões o estresse hídrico já afeta diretamente a população. Devido à esta falta de acesso a recursos hídricos seguros e a incompatibilidade entre a estação das chuvas e a estação de crescimento das plantas, percebe-se de forma mais evidente a necessidade de aproveitar da forma eficiente a pouca água disponível.

Neste contexto, o comércio de água virtual pode ser visto como uma oportunidade para regiões com escassez de água garantir sua segurança através da importação de produtos intensivos em água, enquanto regiões com recursos hídricos abundantes podem lucrar

exportando esses produtos. No entanto, essas práticas precisam ser integradas a políticas que visem a sustentabilidade, considerando os impactos ambientais, sociais e econômicos em longo prazo. Tanto os estudos qualitativos quanto os quantitativos ressaltam a complexidade e a interconexão de questões socioeconômicas, ambientais e políticas relacionadas à água virtual.

Esses estudos fornecem informações valiosas para a implementação de estratégias que promovam a sustentabilidade no desenvolvimento rural. Eles destacam a importância de políticas integradas, tecnologias sustentáveis e práticas agrícolas responsáveis, para garantir a prosperidade das comunidades rurais e juntamente a preservação dos recursos naturais. Portanto, é essencial a adesão a abordagens integradas e a estratégias políticas que considerem a complexidade e a interdependência entre comércio, uso da água, produção agrícola e desenvolvimento rural. Essas abordagens devem visar a gestão sustentável dos recursos hídricos, promovendo práticas eficientes, equitativas e ambientalmente responsáveis para garantir a segurança alimentar e hídrica no presente e para as futuras gerações.

Este estudo se limitou a avaliar artigos com os termos de busca no título do documento, sendo assim, para estudos futuros sugere-se ampliar a busca para todo o texto e para outros idiomas. Além disso, pode-se perceber o baixo número de publicações sobre água virtual referentes ao contexto brasileiro, desta forma, indica-se a aplicação das metodologias de cálculo do comércio de água virtual para os produtos agrícolas mais comercializados no país, de modo a possibilitar o acompanhamento do comércio virtual de água no Brasil.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas. (2012). Apoio à Gestão de Recursos Hídricos. http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/gestaoderecursos_hidricos.aspx

- Almeida, R. R. P.; Silva, M. A. S.; Crispim, D. L.; Carolino, C. A. & Machado, E. C. M. (2015). A pegada hídrica e o nível da consciência ambiental de três escolas do ensino médio do município de Pombal-PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 10 (3), 20-24.
- Bergamaschi, J.C. & Mingotte, F.L.C. (2015). *Análise da água virtual na produção agroexportadora da microrregião de Jaboticabal, Monte Alto e Taquaritinga*. [Apresentação de trabalho]. III SIMTEC – Simpósio de Tecnologia da FATEC, Taquaritinga, São Paulo.
- Bleninger, T. & Kotsuka, L. K. (2015). Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. *Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, 36 (1).
- Cai, R.; Hu, M.; Guo, H.; Fang, F.; Liu, J.; Zhang, S.; Bai, X. & Zhang, L. (2020). Optimization of domestic inter-regional virtual water trade of agriculture products in China. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 446.
- Carmo, R. L.; Ojima, A. L. R. O.; Ojima, R. & Nascimento, T.T. (2007). Água virtual, escassez e gestão: O Brasil como grande “exportador” de água. *Revista Ambiente & Sociedade*, 1, 83-96.
- Carvalho, V. L. S. (2023). Água virtual e pegada hídrica da soja: aumento das exportações nos portos da Amazônia brasileira versus riscos ambientais e hídricos. *Research, Society and Development*, 12 (2).
- Chalisgaonkar, D.; Nema, M. K. & Mishra, J. P. K. (2018). Virtual Water Imports In Delhi City, India With Reference To Agriculture Sector. *Indian Water Resources Society*, 38 (4).
- Corte, T. D. & Corte, T. D. (2016). As transações de água virtual promovem a justiça ambiental? *Revista de Direito e Sustentabilidade*, 2 (2), 20-35.
- Corte, T. D. (2019). *Ecologia política da água: instrumentos jurídicos (inter)nacionais para a gestão da água virtual*. [Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional UFSC.
- Eckel, E. R.; Vieira, K R. S. & Pilau Sobrinho, L. L. (2022). *Relevância da gestão efetiva das áreas protegidas para o cumprimento dos compromissos internacionais assumidos pelo Brasil*. [Apresentação de trabalho]. XI

Encontro Internacional do Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Direito, Santiago, Chile.

- Eustáquio, H. S. & Rossoni, H. A. V. (2022). Revisão sistemática de literatura sobre otimização operacional e padronização das atividades das estações de tratamento de águas residuárias. *Brazilian Journal of Development*, 8 (12), 77238-77254.
- Galvão, T. F. & Pereira, M. G. (2014). Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 23 (1), 183-184.
- Galvão, M. C. B.; Pluye, P. & Ricarte, I. L. M. (2017). Métodos de pesquisa mistos e revisões de literatura mistas: conceitos, construção e critérios de avaliação. *InCID: Revista de Ciência da Informação e Documentação*, 8 (2), 4-24.
- Giacomin, G. S. & Ohnuma, A. A. (2012). Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 8 (8), 1562-1572.
- Hoekstra, A. Y. & Chapagain, A. K. (2007). Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Manage* (48), 21-35. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9039-x>
- Hu, M.; Cai, R.; Guo, H.; Song, D.; Liu, J.; Hou, S.; Bai, X.; Lin, L. & Zhang, L. (2019). The impact of virtual water strategy on domestic interregional agriculture products trade of China. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 295.
- Katyaini, S. & Barua, A. (2017). Assessment of interstate virtual water flows embedded in agriculture to mitigate water scarcity in India (1996–2014). *Water Resources Research* (53), 7382–7400.
- Lakatos, E. M. & Marconi, M. A. (2003). *Metodologia científica*, São Paulo: Atlas.
- Lima, A. C.; Trage, D. R.; Souza, F. F. & Pagani, R. N. (2023). Previsão de demanda de água: uma revisão de literatura. *Research, Society, and Development*, 12 (4).
- Llamas, M. R. & Martinez Santos, P. (2005). Intensive Groundwater Use: Silent Revolution and Potential Source of Social Conflicts. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 337-342.

- Lunardi, J. & Figueiró, A. (2012). Problematizando a água virtual em educação ambiental: conceito e forma de cálculo. *Revista Geonorte*, 3 (4), 290-300.
- Ma, X. & Ma, Y. (2017). The spatiotemporal variation analysis of virtual water for agriculture and livestock husbandry: A study for Jilin Province in China. *Science of the Total Environment* (586), 1150-1161.
- Melão, I. B. (2010). *Desenvolvimento rural sustentável a partir da agroecologia e da agricultura orgânica: o caso do Paraná*. Nota técnica IPARDES, 8.
- Montoya, M. A. & Talamini, E. (2021). *Mudança tecnológica no consumo de “água virtual” e a pegada hídrica na economia brasileira: uma análise insumo-produtoecológico*. Passo Fundo: UPF.
- Noori, H.; Ahmadpari, H.; Mohamadi, E.; Mokhizadeh, V. M. & Hosseinbor, K. (2022). A Foucauldian Analysis of "Virtual Water" Concept in Terms of Sustainable Agriculture and Food Security. *Innovative Technology & Engineering* (12).
- Novoa, V.; Rojas, O.; Ahumada-Rudolph, R.; Arumí, J. L.; Munizaga, J.; De La Barrera, F.; Cabrera-Pardo, J. R. & Rojas, C. (2023). Water footprint and virtual water flows from the Global South: foundations for sustainable agriculture in periods of drought. *Science of The Total Environment* (869).
- Oliveira, S. D. de. (2015). *Fluxo de água virtual no Brasil*. [Tese de Doutorado em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande]. Sistema de Biblioteca da UFCG.
- Organização das Nações Unidas. (2023). Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todas e todos. <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>
- Ray, C.; Mcinnes, D. & Sanderson, M. (2018). Virtual water: its implications on agriculture and trade. *Water International*, 43 (6), 717-730.
- Siddaway, A. P.; Wood, A. M. & Hedges, L. V. (2019). How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and metasyntheses. *Annual Review of Psychology*, 70 (1), 747-770.
- Silva, V. P. R.; Aleixo, D. O.; Dantas Neto., J.; Maracajá, K. F. B. & Araújo, L. E. (2013). Uma medida de sustentabilidade ambiental: Pegada hídrica. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 17 (1), 100-105.

- Silva Neto, I. F.; Souza, M. N. C.; Almeida, S. C. X. (2020). Degradação de corantes por processos fotocatalíticos no tratamento de efluentes industriais: uma revisão integrativa. *Journal of Biology & Pharmacy and Agricultural Management*, 16 (94), 365-373.
- Silva, V.D.P. R.; De Oliveira, S.D.; Hoekstra, A.Y.; Dantas Neto, J.; Campos, J.H.B.C.; Braga, C.C.; De Araújo, L.E.; Aleixo, D.D.O.; De Brito, J.I.B.; De Souza, M. D. & De Holanda, R.M. (2016). Water footprint and virtual water trade of Brazil. *Water*, 8 (11), 517-532.
- Talazi, S.; Al Sakajib, Y. & Altz-Stammc, A. (2015). Towards a water-energy-food nexus policy: realizing the blue and green virtual water of agriculture in Jordan. *International Journal of Water Resources Development*, 31 (3), 461-482.
- Toulios, L.; Romaguera, M.; Calleja, E.; Stancalie, G.; Nertan, A.; Struzik, P.; Marta, A. D.; Alfonso, A. M. T.; Dunkel, Z.; Nunes, J. R. & Vuolo, F. (2013). Potential of remote sensing techniques to improve the agriculture water footprint assessment and the virtual water trade accounting. *Proceedings of SPIE*, 8795.
- Trottier, J. & Perrier, J. (2017). Challenging the coproduction of virtual water and Palestinian agriculture. *Geoforum* (87), 85-94.
- UNESP. (2015). Faculdade de Ciências Agrônomicas. Biblioteca Prof. Paulo de Carvalho Mattos. Tipos de revisão de literatura. Botucatu. <https://www.fca.unesp.br/Home/Biblioteca/tipos-de-evisao-de-literatura>
- Wang, Y.; Wu, H. & Li, Z. (2022). Assessment of Sectoral Virtual Water Flows and Future Water Requirement in Agriculture Under SSP-RCP Scenarios: Reflections for Water Resources Management in Zhangye City. *Frontiers in Ecology and Evolution* (10).
- Wolkmer, F. & Pimmel, F. (2013). Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. *Seqüência Estudos Jurídicos e Políticos*, 34 (67), 165-198.
- World Resources Institute. (2023). *25 Countries, Housing One-quarter of the Population, Face Extremely High Water Stress*. <https://www.wri.org/insights/highest-water-stressed-countries>