O Boletim de Conjuntura (BOCA) publica ensaios, artigos de revisão, artigos teóricos e empíricos, resenhas e vídeos relacionados às temáticas de políticas públicas.

O periódico tem como escopo a publicação de trabalhos inéditos e originais, nacionais ou internacionais que versem sobre Políticas Públicas, resultantes de pesquisas científicas e reflexões teóricas e empíricas.

Esta revista oferece acesso livre imediato ao seu conteúdo, seguindo o princípio de que disponibilizar gratuitamente o conhecimento científico ao público proporciona maior democratizacão mundial do conhecimento.



BOLETIM DE CONJUNTURA

BOCA

Ano VI | Volume 18 | Nº 52 | Boa Vista | 2024

http://www.ioles.com.br/boca

ISSN: 2675-1488

https://doi.org/10.5281/zenodo.11209931

BOLETIM DE CONJUNTURA

www.ioles.com.br/boca

ANÁLISE DA ÁGUA VIRTUAL APLICADA NO COMPLEXO SUCROENERGÉTICO DO PARANÁ NA PERSPECTIVA DE CONSUMO[1]

Anderson Ribeiro de Almeida[2]

José Francisco dos Reis Neto[3]

Resumo

O Brasil é um dos maiores produtores de alimento do mundo, fazendo do agronegócio um setor fundamental da economia brasileira. O país é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo, e o estado do Paraná é o 5o maior produtor nacional, respondendo por 3,21% da produção na safra 2020/21. Este artigo tem o objetivo de aplicar o modelo híbrido de insumo-produto e o índice de ligação para trás e para frente, para determinar quais setores sucroenergético do Paraná, são considerados chaves, em termo de consumo direto e indireto de água. A produção da cana-de-açúcar é responsável pela maior parte do consumo total de água do complexo sucroenergético, além de ser considerado o setor-chave do complexo sucroenergético do Paraná em 2015. O modelo de consumo direto e indireto de água é uma ferramenta útil para se elaborar políticas de planejamento e economia de água, assim como expandir a economia regional.

Palavras-chave: Água Virtual; Cana-de-Açúcar; Consumo de Água; Desenvolvimento, Ambiente e Sustentabilidade; Gestão e Planejamento de Políticas Públicas Ambientais.

Abstract

Brazil is one of the largest food producers in the world, making agribusiness a fundamental sector of the Brazilian economy. The country is the largest producer of sugarcane in the world, and the state of Paraná is the 5th largest national producer, accounting for 3.21% of production in the 2020/21 harvest. Sugarcane had its productivity reduced due to water deficiency, requiring the irrigation process, as this increases water consumption in the production process. Given this scenario, this article aims to apply the hybrid input-output model and the backward and forward linkage index, to determine which sectors of the sugar-energy complex of Paraná are considered key, in terms of direct and indirect consumption. of water in 2015. The results confirm that the production of sugarcane is responsible for most of the total water consumption of the sugar-energy complex, in addition to being considered the key sector of the sugar-energy complex of Paraná in 2015. Thus, it concludes The model of direct and indirect water consumption can be seen as a useful tool for designing water planning and saving policies, as well as expanding the provincial economy.

Keywords: Development, Environment and Sustainability; Management and Planning of Public Environmental Policies; Sugar Cane; Virtual Water; Water Consumption.

[1] O presente estudo contou com o apoio institucional da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

[2] Professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Paraná (IFPR). Doutor em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional. E-mail para contato: anderson.almeida@ifpr.edu.br

[3] Professor da Universidade Anhanguera (Uniderp). Doutor em Economía de la Empresa. E-mail para contato: jfrn@terra.com.br

INTRODUÇÃO

A escassez hídrica, em grande parte causada pela atividade humana, não é apenas resultado do consumo excessivo, mas também decorre do uso inadequado e da contaminação da água. A qualidade das águas superficiais e subterrâneas tem sido negativamente impactada pela liberação de contaminantes, tanto diretamente quanto indiretamente, em lagos, rios, aquíferos, estuários e oceanos. Essa contaminação afeta os ecossistemas, a saúde humana, a produção de alimentos e a biodiversidade.

Além dos impactos diretos das atividades humanas, como a poluição, a má gestão dos recursos hídricos e ambientais também causa consequências ambientais significativas. Mudanças climáticas alteram os ciclos biogeoquímicos e a disponibilidade de chuvas, levando à perda de flora e fauna, desequilíbrios nas relações ecológicas e até mesmo mudanças na paisagem e no relevo dos ambientes.

A demanda global por água tem aumentado de forma significativa, estimada em 4.600 km³ por ano em 2016 e podendo aumentar em 30% até 2050. Esse aumento é impulsionado pelo crescimento populacional, desenvolvimento econômico e mudanças nos padrões de consumo. A produção agrícola irrigada é responsável pela maior parte desse consumo, enquanto a pecuária também contribui de forma significativa.

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores de alimentos do mundo, com o agronegócio desempenhando um papel fundamental na economia nacional. Durante a recessão de 2020, o setor agrícola foi um dos poucos a manter um desempenho positivo. O cultivo de cana-de-açúcar é especialmente relevante, com o Brasil sendo o líder mundial em produção.

Apesar da importância econômica da cana-de-açúcar, seu cultivo requer grande quantidade de água. No entanto, a cultura apresenta resiliência ao estresse hídrico, o que significa que sua produtividade não é inviabilizada mesmo em condições de deficiência de água. A prática da irrigação pode mitigar os impactos negativos, mas enfrenta desafios econômicos e ambientais.

O comércio de água virtual, teoricamente determinado pelas dotações de recursos naturais de cada região, não necessariamente reflete a disponibilidade real de água. No entanto, a análise desses fluxos de água virtual é essencial para entender a gestão dos recursos hídricos e desenvolver políticas públicas eficazes.

Não obstante aos impactos gerados pelo consumo inconsiderado da água na cadeia produtiva do setor sucroenergético à sociedade, à economia e principalmente ao meio ambiente, este trabalho parte da seguinte questão norteadora: *Quais setores do Complexo Sucroenergético são considerados chaves, em termos de consumo de água, no estado do Paraná em 2015?*

Como tentativa de respondê-la, elaborou-se os seguintes objetivos: Objetivo geral: aplicar o modelo híbrido de insumo-produto e o índice de ligação para trás e para frente, para determinar quais setores do complexo sucroenergético do Paraná, são considerados chaves, em termo de consumo direto e indireto de água em 2015. Os objetivos específicos foram: (i) calcular a água virtual na perspectiva de consumo (pegada hídrica), por meio dos coeficientes de consumo da água e incorporada à produção do setor sucroenergético do Paraná; (ii) calcular o efeito multiplicador do consumo de água e o efeito multiplicador de consumo de água indireta. (iii) calcular o efeito multiplicador do consumo de água e o efeito multiplicador de consumo de água indireta nos setores do complexo sucroenergético no Paraná em 2015. (iv) aplicar o índice de ligação para trás e para frente, para identificar os principais setores que influenciam o consumo de água no Complexo Sucroenergético em 2015.

Quanto a metodologia foi adotada a matriz de insumo-produto que é uma abordagem analítica utilizada para estudar a interdependência entre os diferentes setores de uma economia. Ela permite entender como mudanças na demanda de um setor afetam outros setores, bem como identificar os setores mais importantes em uma economia. A matriz de insumo-produto é utilizada para calcular diferentes indicadores, como o efeito multiplicador, que mostra o impacto de uma mudança na demanda final sobre a produção total da economia. Além disso, pode-se calcular índices de ligação para trás e para frente, que indicam a importância de cada setor na cadeia produtiva.

Para esclarecer esses pontos, o artigo é organizado em diferentes seções, iniciando com uma introdução que oferece uma visão geral do assunto em discussão, seguida de uma base teórica que detalha os aspectos de disponibilidade e consumo de água no Brasil e no Paraná, juntamente com aspectos econômicos, e teóricos de água virtual.

A seção subsequente descreve os métodos e materiais empregados na pesquisa, explicando como os dados foram coletados, selecionados e analisados. Posteriormente, a seção de resultados destaca as principais descobertas dos estudos revisados. A análise desses resultados é explorada na próxima seção, onde são discutidas as implicações dos achados. Para concluir, os autores delineiam suas considerações finais, reflexões, as limitações encontradas e propostas para investigações futuras.

ASPECTOS E DIMENSÕES DOS RECURSOS HÍDRICOS BRASILEIROS

A água é um recurso fundamental para o desenvolvimento humano, mas apenas 0,5% de toda a água na Terra é potável (WATER, 2021). Em termos gerais, o Brasil tem grande disponibilidade de água. Entretanto, esse recurso natural encontra-se distribuído de maneira heterogênea, dada a grande

extensão territorial do país (ANA, 2019). O Brasil está entre os países com maior reserva de água doce (13,8%) mundialmente.

Théry e Mello-Théry (2016), por exemplo, estimam que a disponibilidade hídrica por habitante varia de 1.835 m^3/hab./ano, na bacia hidrográfica do Atlântico Leste, a 628.938 m^3/hab./ano, na bacia Amazônica. Em média, cerca de 255 mil m^3/s de água escoam pelo território brasileiro, sendo que quase 80% desse total encontra-se na bacia Amazônica. Em relação ao volume, em torno de 30% da vazão média está disponível nos rios por mais de 95% dos dias, sendo cerca de 63 mil m^3/s na bacia amazônica e 13 mil m^3/s nas demais bacias. Essas estimativas variam nas diversas regiões devido ao regime de chuvas e às características do solo. Por exemplo, alguns rios na bacia do Paraná podem manter mais de 40% da vazão média por mais de 95% do tempo (ANA, 2020).

Ainda com relação ao aspecto quantitativo da disponibilidade hídrica, o Brasil dispõe de 240.899 massas d'água que ocupam uma área superficial total de 173.749,56 km^2, sendo 27,6% de origem natural e 72,4% artificiais; se somadas, correspondem a uma área de 73.749,56 km^2. Os reservatórios artificiais e as barragens são intervenções hídricas construídas com o objetivo de manter o volume de água para diversas finalidades, tais como geração de energia elétrica, produção de peixes, abastecimento, irrigação, acumulação de rejeitos oriundos da mineração, acumulação de resíduos industriais, dentre outras (ANA, 2019).

O uso da água pode ser classificado de três maneiras: retirada, consumo e retorno. A retirada refere-se à água total captada. O retorno diz respeito à parcela da água retirada para um determinado fim, mas que retorna aos corpos hídricos. O consumo, por sua vez, compreende a água retirada que não retorna diretamente aos corpos hídricos. De forma lógica, é a subtração da retirada pelo retorno (ANA, 2020). O Brasil demanda uma quantidade substancial de água, com a tendência de aumentar até 80% do que foi retirado nos últimos 20 anos.

A principal destinação é a irrigação, consumo humano e animal, indústria, geração de energia, mineração, aquicultura, navegação, recreação e lazer (ANA, 2019). Em 2019, a irrigação foi responsável por 52% das retiradas de água, seguida pelo abastecimento urbano (23,8%), pela indústria de transformação (9,1%) e pelo abastecimento animal (8%) (ANA, 2019). O aumento populacional e o crescimento das atividades econômicas têm gerado um aumento significativo na demanda hídrica no Brasil, contribuindo para a elevação do estresse hídrico ao longo dos anos.

Conforme apresentado na Tabela 1, 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 m^3/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,

no entanto, apenas 9,0% (101 m^3/s) retorna, correspondendo a 42,2% (405 m^3/s) do volume total de água.

Tabela 1 - Demandas de água por finalidade no Brasil em 2019

Finalidade	Retirada		Consumo		Retorno	
	m^3/s	%	m^3/s	%	m^3/s	%
Irrigação	1.038	49,8%	744	66,1%	295	30,7%
Abastecimento Urbano	506	24,3%	101	9,0%	405	42,2%
Indústria	202	9,7%	109	9,7%	94	9,8%
Uso Animal	175	8,4%	131	11,6%	44	4,6%
Termelétrica	93	4,5%	3	0,3%	90	9,4%
Mineração	36	1,7%	11	0,9%	26	2,7%
Abastecimento Rural	34	1,6%	27	2,4%	7	0,7%
Total	2.083	100%	1.125	100%	959	100%

Fonte: Elaboração própria. Base de dados Ana (2020).

A demanda do uso da água, somada aos usos intensivos pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas brasileiras e aos problemas de qualidade de água decorrentes da poluição hídrica, exige ações de gestão dos recursos hídricos cada vez mais efetivas a partir do monitoramento dos recursos hídricos.

ASPECTOS E DIMENSÕES DOS RECURSOS HÍDRICOS DO PARANÁ

Levando em consideração as regiões hidrográficas brasileiras estabelecidas, o Paraná está dividido em: Região Hidrográfica do Atlântico Sul, do Atlântico Sudeste e do Paraná. Em âmbito estadual, a resolução no 49 do Conselho Estadual de Recursos hídricos do Paraná, de 20 de dezembro 2006, dispõe sobre 16 bacias hidrográficas e 12 Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado do Paraná.

Das bacias hidrográficas, a do Rio Iguaçu e do Rio Tibagi concentram as maiores populações, somando cerca de 50% dos habitantes do estado. A disponibilidade hídrica subterrânea - isto é, os volumes de água acumulados nos aquíferos - é também utilizada para atender às demandas hídricas de diferentes usuários. A maior bacia hidrográfica do Paraná é a do Rio Iguaçu (54.821 km^2), seguida da do Rio Ivaí (36.540 km^2), do Rio Tibagi (24.937 km^2), do Rio Piquiri (24.172 km^2), do Rio Ribeira (9.736 km^2) e do Rio das Cinzas (9.613km^2), totalizando 96.490 km^2 de bacia e 1.153.170 l/s. (PARANÁ, 2020).

Do ponto de vista da disponibilidade relativa (o volume de água por habitante), a Organização das Nações Unidas (WATER, 2021) recomenda um índice de 1.500 m3/hab./ano. No Estado do Paraná, a Bacia do Paranapanema 1 e a Unidade Hidrográfica do Alto Iguaçu e Afluentes do Ribeira não

atendem a essa relação, pois apresentam um déficit por habitante de 215 e 431 m3/hab./ano, respectivamente.

Quando desconsiderada a contribuição da Bacia do Rio Ribeira, torna-se ainda mais crítica a situação do Alto Iguaçu, haja vista que o déficit por habitante atinge quase 1.000 m3/hab./ano, em uma região de grande concentração populacional (30%). Para se determinar as disponibilidades hídricas superficiais, foram analisadas as vazões médias de longo termo e as vazões com permanência de 95% do tempo (PARANÁ, 2020).

O Paraná conta com 11 Unidades Aquíferas, as quais estimam que 80% do potencial hidrogeológico de cada unidade deve ser preservado, com exceção do Aquífero Guarani, que adotou a estimativa de 90%, por não haver dados quanto ao seu volume exato. No entanto, o Paraná dispõe de 299.888 l/s de águas subterrâneas. As quantidades subterrâneas não são consideradas nos cálculos de disponibilidade hídrica do Paraná, por serem reserva estratégica (PARANÁ, 2020). Podem ser destacadas as regiões Nordeste e Sudeste, especialmente o estado de São Paulo, como as que mais utilizam águas superficiais (PINTO-COELHO *et al*., 2014).

Devido ao aumento do uso das águas subterrâneas, há uma preocupação com a preservação dessas reservas. Nesse sentido, destaca-se o Programa Hidrológico Internacional (PHI), órgão pertencente à Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), que assumiu a conservação dessas águas como algo prioritário, tendo como objetivo a sua recuperação e o incentivo ao seu uso sustentável (UNESCO, 2011; 2021).

A maior reserva subterrânea é o Aquífero Guarani, localizada na região Sul da América do Sul (abrangendo partes do território do Brasil, da Argentina, do Uruguai e do Paraguai). No Brasil, o Aquífero Guarani se apresenta no subsolo dos seguintes estados, além do Paraná: São Paulo, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Santa Catarina (COELHO *et al*., 2022).

Quanto à demanda, 42% da disponibilidade de água superficial do Paraná é destinada ao abastecimento humano (21.795 l/s), com destaque à bacia do Rio Iguaçu (63%) e do Rio Tibagi (38%). O setor industrial é o segundo com maior demanda de uso, com 12.349 l/s (24%), seguido pela agricultura, com 10.735 l/s (21%), e a pecuária, com 6.485 l/s (13%), totalizando uma demanda hídrica de 51.364 l/s.

A bacia com maior percentual de uso é a do Rio Iguaçu (32%), sendo que 63% destinam-se ao abastecimento público, 18% à industrial, 10% à agricultura e 9% à pecuária. O segundo lugar no ranking é o da bacia do Rio Tibagi (18%), sendo 38% direcionado ao abastecimento público, 37% à industrial,

18% à agricultura e 7% à pecuária. Seguindo essas duas bacias, estão a do Ivaí (17%), do Pirapó (5%) e das Cinzas (3%) (PARANÁ, 2020).

De acordo com o Resumo executivo do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Paraná́, publicado em outubro de 2020, a disponibilidade hídrica no estado é suficiente para atender às necessidades dos diferentes usos e usuários. Segundo o documento, grande parte das bacias hidrográficas utiliza menos de 10% dos recursos hídricos superficiais disponíveis.

A ESCASSEZ HÍDRICA E SEUS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE

A escassez hídrica é causada pelo homem, não apenas devido ao consumo excessivo, mas também como resultado do mal uso e da contaminação da água. A qualidade das águas superficiais e subterrâneas é afetada negativamente pela descarga de contaminantes antropogênicos direta ou indiretamente em lagos, em rios, em aquíferos, em estuários e em oceanos. Além disso, a contaminação da água afeta diretamente os ecossistemas, humanos, a saúde, a produção de alimentos e a biodiversidade (JACOBI; GRANDISOLI, 2017).

Outro aspecto relevante diante de cenários de escassez hídrica está relacionado às perdas no sistema de abastecimento. Além do desperdício de recursos naturais, é fundamental considerar os impactos econômicos que geram, tanto no aumento do custo da energia elétrica e nos custos operacionais das empresas de saneamento quanto para o consumidor final. Como ferramenta de gestão, as perdas hídricas no sistema de abastecimento se dividem em duas: as aparentes e as reais (SNIS, 2020).

As perdas aparentes denotam impacto diretamente econômico, pois estão relacionadas “[...] ao volume de água que foi efetivamente consumido pelo usuário, mas que, por algum motivo, não foi medido ou contabilizado [...]” (SNIS, 2020, p. 81), gerando perda financeira para a empresa fornecedora. As perdas reais, por sua vez, “[...] referem-se a toda água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores[...]” (SNIS, 2020, p. 81). Tais perdas acontecem geralmente por falhas de infraestrutura na rede distribuição e, diferentemente da categoria anterior, geram prejuízo econômico às empresas de saneamento e aos consumidores, pois há desperdício dos recursos hídricos, os quais, em geral, são irrecuperáveis (SNIS, 2020).

Considerando as perdas de água no sistema de distribuição do fornecedor até o consumidor, segundo o relatório do 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos elaborado pelo SNIS, em 2019, o Brasil perdeu 39,2% de água na distribuição dos 27 prestadores de abrangência local de maior porte participantes do SNIS. As cidades com maior perda de água na distribuição são: Piracicaba (SP)

(56,8%), Cuiabá (MT) (59,4%) e Manaus (AM) (72,1%) (SNIS, 2020). Cerca de 80% da água superficial do país encontram-se na Região Hidrográfica Amazônica, a qual, por outro lado, tem baixa densidade demográfica e pouca demanda por uso de água (ANA, 2020) e maior perda na distribuição.

Os impactos ambientais relacionados à má gestão dos recursos hídricos e ambientais vão além dos diretamente relacionados às atividades humanas, e englobam: mudanças nos ciclos biogeoquímicos e na disponibilidade de chuvas causadas pelas mudanças climáticas; perda de flora e fauna; desequilíbrio nas relações ecológicas e ecossistêmicas; e a mudança de paisagem e de relevo dos ambientes (ARAÚJO *et al.*, 2009).

CONTEXTO ATUAL ECONÔMICO E DO COMÉRCIO INTERNACIONAL

Após uma retração econômica global de 3,4%, em 2020, e um crescimento de 5,5%, em 2021, considerada maior taxa de crescimento em mais de quatro décadas, a previsão

de crescimento para 2022 e 2023, segundo a WORLD BANK (2022), será de 4% e 3,5%, respectivamente. O produto bruto mundial em 2021 foi de 1,9%, maior do que em 2019, mas ainda 3,3% abaixo do nível de produção projetado antes da pandemia (WORLD BANK, 2022).

Esses indicadores econômicos demonstram um considerado crescimento agregado, no entanto, mascaram divergências marcantes no ritmo de recuperação entre países e regiões que ainda sentem os impactos econômicos pós-pandemia. Segundo a Water (2021), a recuperação econômica global depende de um equilíbrio delicado em meio a novas ondas de infecções pela Covid-19, a desafios persistentes do mercado de trabalho, a restrições persistentes da cadeia de suprimentos e a crescentes pressões inflacionárias.

A produção da indústria mundial acelerou em paralelo a uma recuperação no comércio global, a qual tem sido predominantemente impulsionada por uma demanda mais forte no leste da Ásia. Fortaleceram-se, também, os indicadores de confiança econômica, especialmente nos países de economias desenvolvidas. Com isso, as condições de investimento melhoraram, em meio a mercados financeiros estáveis, a forte crescimento do crédito e a perspectivas macroeconômicas mais sólidas (WATER, 2021).

O PIB brasileiro em 2020 fechou em R$ 7,5 trilhões. Houve uma retração de 4,1% em relação a 2019, resultado das quedas de 3,9% do valor adicionado, o que também se refletiu no desempenho do setor Agropecuário (2,0%), industrial (-3,5%) e de serviços (-4,5%). O crescimento do valor adicionado no setor Agropecuário foi consequência do crescimento da produção e do ganho de produtividade agricultura, em detrimento ao baixo desempenho da Pecuária e da Pesca (IBGE, 2021a).

Até o terceiro trimestre de 2021, o PIB apresentou uma taxa de crescimento de 4,0%, se comparada ao mesmo período de 2020. Diferentemente do ano anterior, o setor Agropecuário apresentou uma queda de 9,0%, que pode ser explicado pela diminuição da produtividade de algumas lavouras de café (-22,4%), de algodão (-17,5%), de milho (-16,0%), de laranja (-13,8%) e de cana-de-açúcar (-7,6%). Ressalta-se, ainda, que as estimativas para a Pecuária apontaram um fraco desempenho dessa atividade no trimestre analisado (IBGE, 2021b).

A Indústria registrou alta de 1,3% no terceiro trimestre de 2021, uma leve recuperação comparada a 2020. O setor da construção apresentou o melhor resultado no trimestre: 10,9%. As Indústrias extrativas também cresceram (3,5%), puxadas pelo crescimento da extração de minério de ferro. No entanto, a atividade de eletricidade evidenciou uma queda de 4,6%, justificada pela escassez hídrica no país. Da mesma forma, as Indústrias de Transformação tiveram retração de 0,7%, devido à redução na produção de alimentos, de móveis, de bebidas, de material elétrico e de equipamentos de informática.

Na agricultura, a safra 2021/22 da cana-de-açúcar considera os efeitos climáticos adversos com a estiagem durante o ciclo produtivo das lavouras e as baixas temperaturas registradas em junho e julho de 2021, inclusive com episódios de geadas em algumas áreas de produção, sobretudo, em São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Em virtude disso, os dados apontam para uma redução na produção de cana-de-açúcar em comparação à safra passada (CONAB, 2020; 2021; UNICA, 2022). A Tabela 2 demonstra a variação da produção de cana-de-açúcar dos principais produtores do Brasil (em mil/toneladas) entre as safras 2019/2020 e 2020/2021.

Tabela 2 - Variação da produção de cana-de-açúcar dos principais produtores do Brasil, em mil/toneladas. Safras (2019/2020 e 2020/2021)

Estado / Região	Safra			
	2019/2020		2020/2021	
	Produção	Variação	Produção	Variação
São Paulo	343.750	3,12	356.508	3,71
Goiás	75.268	7,52	74.011	-1,67
Minas Gerais	68.195	8,14	70.838	3,87
Mato Grosso do Sul	47.515	-4,02	48.804	2,71
Paraná	34.214	-4,01	34.790	1,68
Outros estados	73.744	5,90	72.482	-1,71
Região Centro-Sul	590.361	3,00	605.462	2,56
Região Norte-Nordeste	52.325	8,98	51.970	-0,68
Brasil	642.686	3,46	657.433	2,29

Fonte: Elaboração própria. Base de dados: Unica (2022).

A estimativa de colheita de cana-de-açúcar é de 568,4 milhões de toneladas em todo país, representando um volume de matéria-prima 13,2% a menos em relação à safra 2020/21, uma queda

significativa em comparação aos anos anteriores. A região Sudeste, maior produtora do país, pode sofrer uma perda produtiva de 16,8%, com uma produção estimada em 356,7 milhões de toneladas. A região Centro-Oeste teve uma redução de 5,4% na produção da safra atual (CONAB, 2020; 2021; UNICA, 2022).

A região Nordeste, por sua vez, apresentou uma produtividade média de 4,6%, mesmo havendo uma redução de 13,6% da área produzida, resultando em um aumento de 9,7% em relação à safra anterior, o que corresponde a uma produção total de 43,7 milhões de toneladas. Com um pequeno aumento de 0,4% na área cultiva e com produção total estimada em 31,9 milhões de toneladas, comparando-se com a safra anterior, a região Sul pode apresentar uma redução 6,6% na produção, decorrente da diminuição da produtividade (CONAB, 2020; 2021; UNICA, 2022).

A baixa na produção da cana-de-açúcar se refletirá em toda a cadeia produtiva, principalmente na produção etanol e açúcar, pois são produtos diretamente derivados dessa cultivar. A partir da safra 2021/22, estima-se que o etanol total terá uma redução de 16,6%, com uma produção de 24,8 bilhões de litros (CONAB, 2020, 2021; UNICA, 2022). A Tabela 3 apresenta a variação da produção do etanol total, dos principais produtores do Brasil, em mil/m3 equivalente a safra 2019/2020 e 2020/2021.

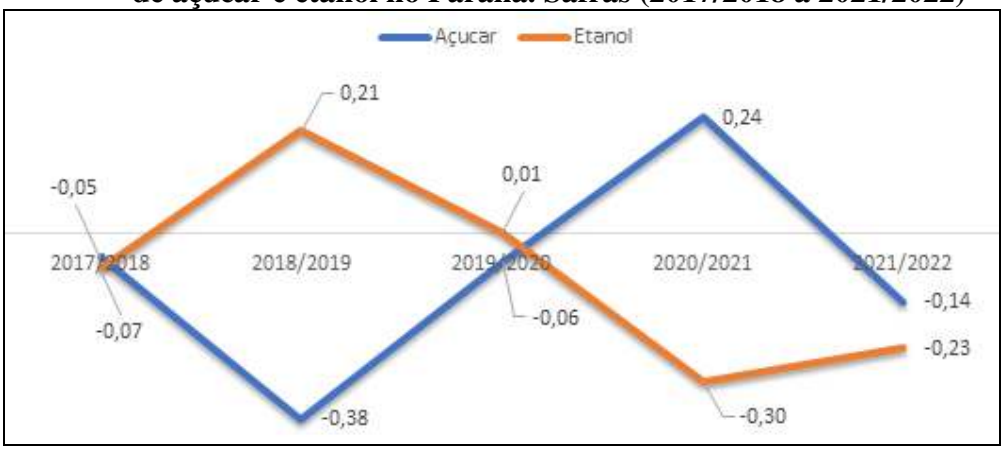
Tabela 3 - Produção e variação da produção do etanol total, dos principais produtores do Brasil, em mil/m3 (2019/2020 e 2020/2021)

Estado / Região	Etanol total			
	2019/2020		2020/2021	
	Produção	Variação	Produção	Variação
São Paulo	16.545	3,76	14.426	-12,80
Goiás	5.533	13,10	5.241	-5,27
Mato Grosso	2.445	35,53	3.326	36,00
Minas Gerais	3.567	10,64	3.059	-14,24
Mato Grosso do Sul	3.332	1,70	2.864	-14,05
Paraná	1.659	2,74	1.261	-23,96
Outros estados	2.516	6,71	2.325	-7,59
Região Centro-Sul	33.258	7,45	30.363	-8,70
Região Norte-Nordeste	2.339	8,24	2.140	-8,50
Brasil	35.597	7,50	32.503	-8,69

Fonte: Elaboração própria. Base de dados: Unica (2022).

Como é possível observar no gráfico 1, durante a série histórica houve um trade-off entre a produção do açúcar e do etanol. Isto porque as usinas instaladas no Paraná, são as mesmas que produzem os dois produtos e dado os fatores de produção serem os mesmos, a gestão necessita escolher qual necessidade é mais substancial atender no período. (CONAB, 2020, 2021; UNICA, 2022).

Gráfico 1 - Série histórica da variação da produção de açúcar e etanol no Paraná. Safras (2017/2018 a 2021/2022)



Fonte: Elaboração própria.

Em contrapartida, o etanol anidro, utilizado na mistura com a gasolina, deverá crescer 4% em relação à temporada anterior, atingindo o patamar de 9,69 bilhões de litros, no entanto, o etanol hidratado a ser produzido poderá chegar a aproximadamente 15,11 bilhões de litros, 26% a menos que a última safra. O mesmo ocorre com a produção do açúcar, que terá redução de 17,8% em relação à safra 2020/21; a produção será de 33,9 milhões de toneladas (CONAB, 2020, 2021; UNICA, 2022). A Tabela 4 apresenta a variação da produção do açúcar, dos principais produtores do Brasil, em mil/m3 no tocante à safra 2019/2020 e 2020/2021.

Tabela 4 - Variação da produção de açúcar, dos principais produtores do Brasil, em mil/toneladas (2019/2020 e 2020/2021)

Estado / Região	Açúcar			
	2019/2020		2020/2021	
	Produção	Variação	Produção	Variação
São Paulo	18.515	1,89	26.324	42,18
Minas Gerais	3.178	3,76	4.709	48,17
Paraná	2.009	-5,33	2.636	31,21
Goiás	1.782	6,70	2.319	30,15
Alagoas	1.332	10,33	1.438	7,95
Mato Grosso do Sul	731	-22,63	1.847	152,81
Outros estados	2.059	9,86	2.230	8,30
Região Centro-Sul	26.761	0,95	38.465	43,73
Região Norte-Nordeste	2.845	11,85	3.038	6,81
Brasil	29.606	1,90	41.503	40,19

Fonte: Elaboração própria. Base de dados Unica (2022).

Segundo informações da União da Indústria de Cana-de-Açúcar - UNICA (2022), na região Centro-Sul, maior produtora do setor sucroenergético do Brasil, estão em operação 268 unidades que processam a cana-de-açúcar, sendo que 20 estão instaladas no estado do Paraná. Das unidades instaladas

na região, cinco fabricam etanol de cana e de milho, outras seis unidades produzem exclusivamente etanol de milho e 64 unidades exclusivamente etanol de cana-de-açúcar.

Dentre a produção de etanol na região Centro-Sul, 25,8% advêm de plantas dedicadas ao biocombustível com cana-de-açúcar, 12,6% têm o milho como matéria-prima e 16,1% correspondem à participação das destilarias na moagem da cana-de-açúcar. Com relação à produtividade, a safra de 2021/22 é consideravelmente a menor e reduz o patamar médio das últimas 10 safras, chegando a 67t/ha (UNICA, 2022).

A produtividade média da cana-de-açúcar (toneladas de cana/ha) em uma série histórica de 2010-2019. Como é possível observar na série histórica uma grande variação no rendimento da produtividade. O ano de 2010 foi o período que mais produzindo chegando ao patamar de 78t/há o ano seguinte teve uma ligeira queda para um pouco mais de 77t/ha. Em 2012 a produtividade foi abaixo da média do período atingindo 68t/ha. O ante seguinte conseguiu superar a média, no entanto em 2014 sofreu uma queda na produtividade. 2015 foi o terceiro ano mais produtivo da série histórica, mas os anos seguinte só houve queda na produtividade, e desde a produção de cana-de-açúcar no Paraná não conseguiu se recuperar, até 2018 teve uma pequena melhora, mas ainda está longe de atingir a média.

Para a safra 2022/23, a UNICA (2022) espera uma recuperação parcial da produtividade do setor em pelo menos 8,5%, considerando melhores condições dos canaviais, melhor remuneração do açúcar e etanol e maiores investimentos no sistema de produtivo. No que diz respeito ao clima, existem indicativos de condições climáticas mais favoráveis à cultura da cana-de-açúcar, o que poderá favorecer a produção para o período.

A corrente de comércio do país aumentou 35,6%, sendo a maior da série histórica. O saldo comercial, por sua vez, evoluiu 21,4% ao alcançar US$ 61,2 bilhões (BRASIL, 2022), conforme destaca a Tabela 5.

O ano de 2020 foi marcado pelos efeitos da pandemia da covid-19 sobre a economia e o comércio internacional, gerando impactos tanto na oferta quanto na demanda mundiais. O Brasil seguiu a tendência mundial; o comércio internacional de bens e serviços foram afetados (BRASIL, 2020; 2021). No entanto, o ano de 2021 foi marcado pela recuperação da economia mundial, em virtude da vacinação em massa, após uma forte retração no nível de produção global, mesmo diante das incertezas quanto aos desdobramentos da pandemia do novo Coronavírus (BRASIL, 2022).

Tabela 5 - Balança comercial: total e agronegócio brasileiro (2020 e 2021)

Setor	Exportações		
	2020 (US$ bilhões)	2021 (US$ bilhões)	Variação (%)
Agronegócio	100,7	120,6	19,7
Demais setores	108,5	160,0	47,5
Total	209,2	280,6	34,2
Participação do Agronegócio (%)	48,1	43,0	-
Setor	**Importações**		
	2020 (US$ bilhões)	2021 (US$ bilhões)	Variação (%)
Agronegócio	13,1	15,5	18,9
Demais setores	145,7	203,9	39,9
Total	158,8	219,4	38,2
Participação do Agronegócio (%)	8,2	7,1	-
Setor	**Saldo da Balança Comercial**		
	2020 (US$ bilhões)	2021 (US$ bilhões)	Variação (%)
Agronegócio	87,6	105,1	19,9
Demais setores	-37,3	-43,8	17,4
Total	50,4	61,2	21,4

Fonte: Elaboração própria. Base de dados de Ipea (2022).

Nesse contexto, a recuperação da demanda externa decorrente da recessão econômica nos principais parceiros comerciais do Brasil melhorou o desempenho das exportações de bens e de serviços em 2021, resultando em uma alta de 34,2%, correspondendo a US$ 280,8 bilhões, em comparação ao ano de 2020 (US$ 209,1 bilhões). As exportações dos produtos do agronegócio tiveram um aumento de 19,7% em 2021, o que correspondeu a US$120,6 bilhões. O principal produto do agronegócio exportado foi o grão de soja, chegando ao montante de US$ 38,6 bilhões, o equivale a 35,2%, conforme demonstra a Tabela 6.

Tabela 6 - Exportações dos principais produtos agronegócio, por valor (2020-2021)

Produtos	Valor (US$ bilhões)		
	2020	**2021**	**Variação (%)**
Soja em grãos	28,6	38,6	35,2
Carne bovina	8,5	9,2	8,5
Açúcar	8,7	9,2	5,0
Carne de frango	6,0	7,5	25,0
Farelo de soja	5,9	7,4	24,7
Celulose	6,0	6,7	12,4
Café	5,5	6,4	15,3
Madeira	3,7	5,3	44,2
Milho	5,8	4,1	-28,5
Algodão	3,2	3,4	5,6
Carne suína	2,3	2,6	16,1
Óleo de soja	0,8	2,0	164,9
Papel	1,7	1,9	9,1
Sucos	1,6	1,9	16,3
Couros e seus produtos	1,2	1,8	41,0
Demais produtos	11,2	12,6	12,6
Total do agronegócio	100,7	120,6	19,7

Fonte: Elaboração própria. Base de dados: Ipea (2022).

Por outro lado, as importações também registraram um significativo aumento, de 38,2%, correspondendo a US$ 219,4 bilhões em valor, tendo em vista uma contração do PIB brasileiro em 3,9% até o terceiro trimestre de 2021, com expectativa de fechar em 4,8%. Foi um aumento correspondente a 8,9% em relação ao ano 2020, que fechou negativo (-4,1%).

Apesar do clima ter afetado a produção agropecuária significativamente, no Brasil, as exportações do agronegócio cresceram 19,7% em valor, alcançando US$ 120,6 bilhões em 2021, sendo esse um novo recorde nacional. As importações também apresentaram aumento de 18,9%. Ainda assim, a balança comercial do agronegócio fechou o ano com superávit de US$ 105,1 bilhões. A alta dos preços internacionais das commodities teve papel relevante nesse resultado. Os demais setores da economia terminaram 2021 com déficit de US$ 43,8 bilhões (IPEA, 2022).

Como foi apresentado anteriormente, para as exportações brasileiras, em 2021, basicamente ocorreu uma recuperação de preços. As commodities tiveram alta nos valores de comercialização em relação a 2020. O produto com maior elevação foi o óleo de soja (164,9%), seguido da madeira (44,2%), do couro e seus produtos (41,0%) e da soja em grãos (35,2%). No sentido contrário, o milho reduziu o valor exportado (-28,5%) devido à queda na quantidade exportada (40,7).

O açúcar é o produto que compõe o setor Sucroenergético e é comercializado internacionalmente. Como já foi ressaltado, em 2021, a produção de açúcar brasileira foi comprometida pela queda de 4,1% na área plantada de cana-de-açúcar (outras culturas ocuparam essas áreas) e pelas adversidades climáticas, como escassez de chuvas e as geadas na região Centro-Sul, que contribuíram para a queda de 9,5% na produtividade. Com a produção 13,2% menor, a exportação também recuou em 11,0%. No entanto, quem conseguiu exportar açúcar teve uma valorização de 18,0% no valor médio em 2021, impulsionada pela alta nos preços internacionais (IPEA, 2022).

O Paraná foi o 6º maior exportador do Brasil em 2020 e o 7o em 2021. Sua participação foi significativa, pois contribuiu com US$ 16,2 bilhões, em 2020, e US$ 19,0 bilhões, em 2021, 30% superior. Esse aumento foi impulsionado pela exportação da soja em grão (28,4% em 2020 e 24,5% em 2021), da carne de frango in natura (13,9% em 2020 e 14,6% em 2021), do farelo de soja (7,2% em 2020 e 6,9% em 2021), do açúcar bruto e da madeira compensada (4,6% em 2020 e 4,4% em 2021), conforme demonstra a Tabela 6. Os principais destinos foram a China (34,6% em 2020 e 28,4% em 2021), compreendendo os territórios de Hong Kong e Macau, Estados Unidos (6,3% em 2020 e 7,9% em 2021), Argentina (5,6% em 2020 e 5,1% em 2021), México (2,1% em 2020 e 3,2% em 2021), Países Baixos e outros (2,7% em 2020 e 3,1% em 2021) (PARANÁ, 2022).

Em 2021, o Paraná importou US$ 16,9 bilhões, 42,9% a mais que o ano anterior. Os principais produtos que contribuíram para o crescimento das importações foram os adubos e os fertilizantes, com

participação de 11,3%, o equivalente a US$ 1,9 bilhões. Além desses, outros que participaram da elevação foram produtos químicos (7,4%) e US$ 1,2 bilhões, óleo e combustível (6,5%) e US$ 1,1 bilhões e autopeças (6,5%) e US$ 1,0 bilhões (PARANÁ, 2022).

Existem inúmeros debates na literatura quanto ao dilema entre a preservação dos recursos hídricos e a utilização da água no setor agrícola, de alimentos (YANG *et al*. 2021). O estresse hídrico se tornou um problema global (BWAMBALE *et al*. 2022). Se por um lado, o crescimento econômico e a agricultura contribuem significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) na maioria das economias do mundo, bem como fornecendo segurança alimentar a todos. Por outro lado, o setor agrícola e de alimento são apontados como os grandes consumidores de todos este recurso (BWAMBALE *et al*., 2022).

De fato, cada setor econômico utiliza uma combinação de diferentes insumos para produzir seus produtos, e esses, por sua vez, requerem o uso de um conjunto de insumos. Por outro lado, a produção de cada insumo requer o uso de água em diferentes etapas do processo produtivo. Essas interdependências entre os diferentes setores econômicos fazem com que o aumento da produção em cada setor afete indiretamente os recursos hídricos, por meio de alterações na produção dos demais setores. Assim, o modelo de insumo-produto é capaz de traçar e calcular todo o uso indireto da água desde a origem até o destino (DUARTE; YANG, 2011). Segundo a Food and Agricultural Organization (OECD/FAO, 2021), 70% dos recursos de água doce do mundo para irrigar 25% das terras agricultáveis do mundo. Neste aspecto é importante buscar um ponto de equilíbrio, promover o desenrolamento econômico de uma forma mais sustentável.

ASPECTOS TEÓRICOS DA ÁGUA VIRTUAL

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; 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, além disso, o uso do modelo de insumo-produto tem sido comum em muitos estudos para calcular o volume de água virtual em diversos setores produtivos. Esse método permite uma análise abrangente do comércio de água virtual em diferentes regiões e setores econômicos (DENG *et al*., 2015; ZHAO *et al*., 2015; RODRÍGUEZ-SERRANO *et al*., 2017; TIAN *et al*., 2018; WIEDMANN; LENZEN, 2018; SUN *et al*., 2019).

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).

Para identificar os estudos mais recentes sobre o comércio de água virtual, autores realizaram uma revisão da literatura dos últimos cinco anos (2017 a 2021) que utilizaram o modelo regional ou multirregional de entrada e saída. A maioria desses estudos foi conduzida na China e em países asiáticos, examinando o volume e o fluxo de água virtual. Os estudos abordam o consumo de água virtual pelos setores econômicos, bem como a importação e exportação desse recurso. Alguns também investigaram os impactos econômicos e ambientais do comércio virtual de água.

Por exemplo, Gao *et al*. (2020) realizaram uma análise quantitativa da alocação e conexões da água virtual no setor econômico, crucial para a gestão integrada dos recursos hídricos em regiões áridas. Observou-se que a indústria primária foi responsável pela maioria do consumo total de água. Na Ásia

Central, o Quirguistão é um exemplo de país dependente de importações líquidas de água virtual, principalmente devido ao setor agrícola e pecuário (ZHANG *et al*., 2021).

No entanto, a distribuição do comércio de água virtual entre os países varia. A China, por exemplo, tem experimentado um crescimento significativo nas importações de água virtual, principalmente devido ao aumento das importações de produtos agrícolas, como soja, dos Estados Unidos, Índia e Brasil (TIAN *et al*. 2018; DENG e LIU, 2021; HUANG *et al*. 2021).

MATERIAL E MÉTODOS

Fundamentos metodológicos

O modelo utilizado para calcular a água virtual incorporada aos produtos comercializados pelo Paraná, além do uso direto da água, permite também identificar a quantidade de água indireta utilizada na produção dos distintos setores econômicos. Em estudos anteriores, para o cálculo da água virtual incorporada a diferentes produtos, foram utilizadas duas abordagens: a de baixo para cima e a de cima para baixo (FENG *et al*., 2011; HADDAD *et al*., 2018; DENG *et al*., 2015; ZHAO *et al*., 2015; RODRÍGUEZ-SERRANO *et al*., 2017; TIAN *et al*., 2018; WIEDMANN; LENZEN, 2018; SUN *et al*., 2019).

Cada setor econômico utiliza uma combinação de diferentes insumos para produzir seus produtos, e cada deles, por sua vez, requer o uso de um conjunto de insumos. Por outro lado, a elaboração de cada insumo envolve o uso de água em diferentes etapas do processo produtivo. Essas interdependências entre os diferentes setores econômicos fazem com que o aumento da produção em cada campo afete indiretamente os recursos hídricos, por meio de alterações na produção dos demais. Nesses casos, o modelo de insumo-produto é capaz de traçar e calcular todo o uso indireto da água, desde a origem até o destino (DUARTE; YANG, 2011).

O modelo de insumo-produto convencional é baseado em uma tabela quantitativa de transações, normalmente expressa em valores monetários, que descreve os fluxos de produção e de consumo de bens e serviços dos setores econômicos a todos os outros ao longo de um período contábil (GRETTON, 2005). Alguns pesquisadores propuseram utilizar o modelo insumo-produto para calcular o volume de água virtual de diversos setores da economia. Tal metodologia pode ser dividida em um modelo de insumo-produto de região-setor único e um modelo de insumo-produto multirregional ou multisetorial, de acordo com o número de áreas de pesquisa.

Os passos adotados por esses dois modelos são basicamente os mesmos. No modelo de entrada-saída, os dados de uso de água de cada indústria, divididos pela produção total, são usados para obter o coeficiente de uso direto da água. Em seguida, o coeficiente de uso direto da água é multiplicado pela matriz inversa de Leontief (HASSAN *et al*., 2017; AVISO *et al,* 2018; CHEN *et al.,* 2018; TIAN *et al*., 2018; LIU *et al*., 2019; ZHANG *et al*. 2019; DENG; LIU, 2021; WANG *et al*., 2020; ZAREI; NASROLLAHI, 2020; ZHAO *et al*., 2020; DENG *et al*. 2021; SOARES *et al*., 2021).

LEVANTAMENTO DOS DADOS

Os dados utilizados nesta pesquisa foram coletados em base de dados já consolidadas, tais como: o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) - Contas Regionais (PAM e PAIC); o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES); a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA); a Relação Anual de Informações Sociais (RAIS); a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB); a União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA); o Sistema de Informação Geográfica do Agronegócio (SIGA); a Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB); o Escritório de Estatística (EAGRI) da Subsecretaria de Planejamento e Orçamento (SUPLAN); o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS); a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR); a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA); e a Fundação de Apoio a Universidade Federal de Viçosa (FUNARBE).

Os dados foram consolidados conforme Visentin e Szigethy (2022) que 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.

Utilizou-se da matriz insumo-produto referente ao estado do Paraná do ano de 2015, que é elaborada e publicada pelo IPARDES e composta por 42 setores. A partir dela, baseado em Leontief (1967), Morimoto (1970), Guilhoto (2011) e Mendes *et al*. (2011) os autores realizaram o redimensionamento para o complexo sucroenergético. A matriz consolidada ficou com os seguintes setores: (1) Cana-de-açúcar; (2) Açúcar; (3) Etanol.

Morimoto (1970); Guilhoto (2011) e Mendes *et al*. (2011) destacam que, ao se agregarem setores, há um viés de agregação, isto é, uma diferença entre o vetor de produção total do sistema agregado e o vetor obtido pela agregação do total da produção do sistema regional não agregado. Contudo, isso não inviabiliza o estudo, pois os efeitos da agregação somente se tornam relevantes quando há uma redução muito expressiva do número de setores da matriz original.

Procedimento metodológico

A água como insumo primário está envolvida em toda cadeia produtiva de uma economia. Essa relação pode ser obtida por meio de um coeficiente de consumo de água doce para cada setor produtivo. O coeficiente de consumo direto de água doce (W_j) é obtido por meio da razão da quantidade total de água consumida do setor (j) pelo total de entrada para esse setor (xj). Portanto, a unidade para o coeficiente de consumo de água doce é m^3/R$, ou seja, cada unidade monetária gasta pelo setor (j) corresponde a uma unidade de volume de água. Esse indicador representa os efeitos diretos ou de primeira rodada da interação setorial na economia (BOUHIA, 2001; HUBACEK 2005; SUN, 2005 DENG; LIU, 2020; ZAREI; NASROLLAHI, 2020). A formulação do cálculo efetivo do índice de ligação para frente segue esta equação:

$$CDA_{1xj} = W_{1xj}\widehat{X'}_{jxj}^{-1} \quad (1)$$

Em que:

CDA_{1xj} = uso direto de água do setor (j), que pode ser definido como a quantidade de água utilizada pelo setor (j) para gerar uma unidade monetária no setor (j).

W_{1xj} = entrada de água doce do setor (j);

$\widehat{X'}_{jxj}^{-1}$ = produção total do setor (j).

No entanto, a água é consumida tanto direta quanto indiretamente. Por exemplo, para produzir papel, os insumos necessários são celulose, produtos químicos, eletricidade e água (consumo direto). Todavia, os processos de produção de cada um desses insumos também precisam de água (consumo indireto) (AVISO *et al.*, 2018).

Portanto, para combinar o consumo direto e indireto de água, geram-se os multiplicadores do consumo total de água multiplicando-se os coeficientes de consumo direto de água (f) pelo inverso de Leontief $(I - A) - 1$, que representa um indicador do consumo total de água ao longo da cadeia produtiva de cada setor, mostrada na equação (1)

$$CTA = CDA_{1xj}(I - A)^{-1} \quad (2)$$

Em que:

ETA = representa o total de água virtual utilizado tanto direta como indiretamente para a geração de uma unidade monetária da procura final no setor (j);

$\alpha_{jxj}= (I - A)^{-1}$ = a matriz inversa de Leontief do tipo setor-por-setor.

Por fim, com o intuito de calcular as entradas geradas pelos setores produtores de insumos, outro requisito de água, também é necessário. Para o setor (j), esse é o consumo indireto de água virtual. A entrada indireta de água (EIA) é calculada subtraindo-se EDA de ETA. O indicador de uso indireto de água por setor produtivo refere-se à água utilizada indiretamente, proveniente de outros setores, para gerar uma unidade monetária de demanda final de produto no setor j, que é mostrada na equação (3).

$$CIA = CTA - CDA \quad (3)$$

O modelo insumo-produto de Leontief também explica o *drag effect*, que indica como a evolução de um determinado setor pode exercer um "efeito de arrasto" sobre a produção econômica total. Esse efeito é medido por um multiplicador resultante da divisão entre o consumo total de água por unidade de saída pelo consumo direto de água por unidade de saída (MOHAN *et al.*, 2021).

$$MCA_{1xj} = \frac{ETA_{1xj}}{EDA_{1xj}} \quad (4)$$

De acordo com Mohan *et al.* (2021), esse multiplicador de consumo de água (MCA) dá uma ideia da quantidade total de água consumida pelo setor (j) para cada metro cúbico consumido diretamente. Definido o multiplicador MCA, é possível obter um multiplicador de consumo indireto de água indicador de volume de água virtual (IAV) por unidade monetária produzida, simplesmente subtraindo uma unidade de MCA, conforme é explicitado na equação (5).

$$IAV = MCA_{1xj} - 1 \quad (5)$$

Esse indicador expressa a quantidade de água usada indiretamente por um determinado setor, por unidade de água utilizada diretamente para satisfazer a sua demanda desse setor. Para isolar os impactos da cadeia do setor sucroenergético na economia do Paraná, foram necessários o dimensionamento da contribuição de cada segmento da sua cadeia produtiva e as inter-relações sobre aquisições e vendas para outros setores da economia.

Para atender o objetivo deste artigo, é preciso considerada a estrutura interna da economia do estado, dentro de um modelo de insumo-produto para determina o encadeamento dos setores para trás -

que estimam o quanto um setor demanda dos outros setores - e índices para frente - que informam o quanto um setor é demandado pelos outros setores da economia (MILLER; BLAIR, 2009)

Para Rasmussen-Hirschman, valores maiores do que um dos índices de ligações indicam setores acima da média e, portanto, setores-chave para o crescimento da economia. O índice de encadeamento para trás ($BL_{j)}$ permite verificar o quanto um setor (j) qualquer demanda de outros setores da economia (MILLER; BLAIR, 2009). Esse índice é formulado a partir da matriz inversa de Leontief, sendo que o índice de ligação para trás segue esta equação:

$$BL_j = \sum_i z_{ij} \qquad (6)$$

Enquanto o modelo de Leontief capta os efeitos verticais (encadeamentos para trás), serve para mensurar os indicadores e multiplicadores do uso de água e avalia o fluxo de exportação e importação de água, o modelo de oferta de Ghosh (1958), por sua vez, é, nesse caso, utilizado unicamente para captar os efeitos horizontais (encadeamentos para frente).

Os resultados indicaram que a demanda O modelo de Ghosh (1958) foi apresentado por Ambica Ghosh como alternativa ao modelo insumo-produto tradicional, com base no mesmo conjunto de dados do ano-base que sustenta o modelo orientado para a demanda de Leontief (MILLER; BLAIR, 2009). Ao passo que o modelo tradicional insumo-produto de Leontief trata a economia pelo lado da demanda, o modelo de Ghosh (1958) analisa as relações econômicas pelo lado da oferta, com o uso da seguinte equação:

$$x' = x'H + v' \qquad (7)$$

Em que:

x' = é um vetor $1\ x\ n$ de volumes totais de produção para cada setor;

H = é uma matriz $n \times n$ de coeficientes de alocação, que são calculados como uma razão de insumos intermediários intersetoriais e entradas totais. A matriz H é constituída pelos elementos β_{ij}, em que cada um representa os requisitos diretos e indiretos de insumos do setor (j) por unidade de demanda final utilizados na produção do setor (j);

v' = é um vetor de fatores primários $1 \times n$, que inclui capital, trabalho e importações;

O símbolo (') denota transposição de matriz.

O modelo de oferta de Ghosh (1958) (9) é utilizado para estimar a alocação intersetorial dos insumos primários e intermediários (BEKCHANOV *et al*., 2012), e a formulação do cálculo efetivo do índice de ligação para frente segue esta equação:

$$FL_i = \sum_j z_{ij} \quad (8)$$

Esse modelo pode refletir a interdependência entre os diversos setores do sistema econômico e a relação entre a produção e a distribuição dos diversos setores da economia nacional. Subsequentemente, o método insumo-produto tem sido amplamente utilizado em novas áreas, tais como a análise da estrutura industrial, a contabilização da poluição ambiental, a distribuição de renda, de riqueza e de fluxos de capital e a previsão do comércio internacional (CHEN *et al.*, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O consumo de água no processo agroindustrial de produção de açúcar e de etanol, no Brasil, recebeu recentemente muita atenção, devido ao levantamento da área de cana-de-açúcar irrigada. Inicialmente, esse estudo foi realizado na região Centro-Sul e atualmente expandido para todo país. A ANA contou com novos avanços metodológicos e tecnológicos, incorporou de forma mais explícita a análise da fertirrigação, ampliou o escopo territorial para as demais regiões e procurou aprimorar a interlocução com o setor sucroenergético (2019).

O IPEA, por sua vez, publicou um texto para discussão intitulado *Inovação tecnológica e sustentabilidade da cadeia de produção: um exercício para a água no Brasil* (2022), com o escopo de mapear o uso de água ao longo da cadeia de produção no Brasil e de estimar os impactos da adoção de tecnologias menos intensivas em água sobre a intensidade hídrica total e o uso de água. O estudo identificou que uma parte considerável da intensidade hídrica total das atividades econômicas se refere à intensidade indireta e que a adoção de tecnologias mais eficientes no uso de água, por parte de algumas atividades econômicas, tem o potencial de reduzir a intensidade hídrica total de outras atividades e de alterar a participação dos diferentes consumidores finais na demanda de água embutida nos bens e serviços.

Para entender a situação dos recursos hídricos e analisar os padrões de consumo do setor Sucroenergético e demais setores econômicos do Paraná, como proposto neste artigo, é preciso compreender quais setores consomem mais água em detrimento a outros, e quais setores-chave têm maior influência em todo o processo de consumo de água. Nesta seção, portanto, são apresentados e discutidos os resultados obtidos com a análise.

O estudo considerou 3 setores da economia do estado do Paraná, que compõe do complexo sucroenergético, com base na matriz de insumo-produto do ano de 2015. Essa matriz apresenta as relações entre os setores da economia ao registrar os fluxos de bens e serviços e demonstrar as relações

intersetoriais dentro do sistema econômico de um país ou estado. Tal ferramenta pode ser utilizada para estimar o impacto sobre a produção, o emprego, a renda (GUILHOTO, 2011) e os impactos ambientais das atividades econômicas, de projetos governamentais e do setor privado com relação à economia local e nacional (CASTELAO *et al*., 2019).

Para iniciar a reflexão, a Tabela 7 apresenta os indicadores de consumo de água direto (CDA), os quais consideram o volume de água real aplicado ao processo produtivo como insumo. O consumo indireto (CIA) é o volume de água virtual contido nos demais insumos produzidos no decorrer da cadeia produtiva. O indicador de consumo de água engloba, por sua vez, o acumulado de toda a água (virtual + real) utilizada no processo produtivo (CTA) em toda a cadeia produtiva.

Os indicadores sobre a eficiência do uso da água, como o coeficiente de uso direto, indireto e total de água, são úteis para avaliar a alocação eficiente dos recursos hídricos. A Tabela 7, a seguir, apresenta os resultados desses três indicadores para o complexo sucroenergético e os demais setores da economia do Paraná, com base no ano de 2015, em hm^3/milhão de unidades monetárias.

Tabela 7 - Indicadores de consumo de água direto (CDA), indireto (CIA) e total (CTA) para o complexo sucroenergético do estado do Paraná, com base no ano de 2015, em hm3 / mil de unidades monetárias

Setor		CDA	CIA	CTA
Complexo sucroenergético				
1	Cana-de-açúcar	391.954	.971	401.925
2	Açúcar	407.968	.285	410.253
3	Etanol	35.244	482	135.726

Fonte: Elaboração própria.

A primeira coluna dessa tabela mostra o uso direto da água como insumo para a produção de cada setor (CDA). Esse indicador revela a intensidade do uso da água, ou a quantidade de água (hm^3) usada para gerar diretamente uma unidade monetária (mil de reais) de produto em cada setor. Os resultados indicam que os setores da produção de açúcar e da produção de cana-de-açúcar requerem a maior entrada de água direta por unidade de produção.

A segunda coluna mostra o uso indireto da água (água virtual), ou seja, a água incorporada a produtos hidrointensivos utilizados como insumos para a produção de cada setor (CIA). A última coluna reúne os indicadores de consumo total de água, revelando a intensidade do uso da água total de água (real+virtual) e a quantidade de água (hm^3) usada para gerar diretamente uma unidade monetária (milhão de reais) de produto em cada setor. A seguir, os indicadores aplicados à economia do estado do Paraná são analisados.

Tabela 8 - Volume de água real, virtual utilizada diretamente na produção da cadeia produtiva do complexo sucroenergético do estado do Paraná, em 2015 (produção em mil de reais e o volume em hm³)

Setor / Complexo sucroenergético		Valor Produção	CDA (hm³)	(%)
1	Cana-de-açúcar	70.883,4	27.783,1	99%
2	Açúcar	121,8	49,7	1% -
3	Etanol	2.242,3	303,3	1%
	Total	73.247,6	28.136,0	100%
Setor / Complexo sucroenergético		Valor Produção	CIA (hm³)	(%)
1	Cana-de-açúcar	70.883,4	706,80	99%
2	Açúcar	121,8	0,28	1% -
3	Etanol	2.242,3	1,08	1%
	Total	73.247,6	706,80	100%
Setor / Complexo sucroenergético		Valor Produção	CTA (hm³)	(%)
1	Cana-de-açúcar	70.883,4	28.489,86	99%
2	Açúcar	121,8	49,99	1% -
3	Etanol	2.242,3	304,34	1%
	Total	73.247,6	28.844,19	100%

Fonte: Elaboração própria.

A Tabela 8 apresenta dados sobre o consumo direto de água (CDA) e demonstra que a quantidade de água consumida diretamente pelo setor cana-de-açúcar, é muito superior à utilizada pela indústria de etanol e açúcar.

O consumo de água do setor cana-de-açúcar foi superior a 27,7 bilhões de m³, e os demais setores utilizaram apenas uma pequena parcela desse valor, cerca de 352 hm³. Esses resultados confirmam o fato de que a cana-de-açúcar é o principal consumidor de recursos hídricos, representando 99% do consumo total de água do complexo sucroenergético. A intensidade de consumo de água nos setores Sucroenergético é significativamente superior a outros campos com impacto menor de consumo (1,25%). Especificamente, o consumo de água por unidade de produção foi maior para a cana-de-açúcar, por ser o principal insumo do setor, com 391,5 hm³ por mil de reais (CDA).

A produção total de açúcar, em 2015, foi 2,7 milhões de toneladas (CONAB, 2016), o que correspondeu a um custo total de produção de R$2,19 milhões (IBGE, 2019) e a um consumo total de água (CTA) de 49,9 hm³. Em 2021, até o 3º levantamento da safra 2021/22, a produção foi de 2,3

milhões de toneladas, com um custo aproximado a R$1,8 milhões e um consumo hídrico de 734.342,4 hm^3. Esses setores também têm um grande efeito de arrasto no consumo de água de toda a economia do Paraná. Isso pode ser observado examinando-se o multiplicador de consumo de água (MCA) e o indicador de consumo indireto (IAV) (ver Tabela 9).

Se considerarmos apenas o coeficiente consumo direto de água, os setores tais como Cana-de-açúcar, Etanol, seriam negligenciadas porque seu coeficiente é relativamente baixo. No entanto, o coeficiente consumo indireto desses setores é predominantemente alto, ponto que pode ser ignorado devido ao alto nível de consumo direto dos demais setores.

Tabela 9 - Multiplicador do consumo de água (MCA) e indicador de volume de água virtual (IAV) em hm^3 de água

Setor / Complexo sucroenergético		MCA	CDA	ARRASTO
1	Cana-de-açúcar	1,000098	27783,100000	27785,822744
2	Açúcar	1,000012	49,700000	49,700596
3	Etanol	1,001096	303,300000	303,632417
	Total	-	28136,100000	28139,155757
Setor / Complexo sucroenergético		**IAV**	**CIA**	**ARRASTO**
1	Cana-de-açúcar	0,000098	706,800000	706,800098
2	Açúcar	0,000012	0,280000	0,280012
3	Etanol	0,001096	1,080000	1,081096
	Total	-	708,160000	708,161206

Fonte: Elaboração própria.

Para cada hectômetro cúbico (1 hm^3) de água consumido diretamente no setor cana-de-açúcar, um aumento na produção exige o consumo de 823,0 mil m^3 adicionais por outros setores produtivos. Da mesma forma, nas Indústrias do etanol, cada 1 hm^3 consumido diretamente requer o consumo indireto de 1.096 m^3 adicionais de água pelos demais setores. Para o açúcar, a cada 1 hm^3 de água consumida diretamente, outros 596,4 m^3 são consumidos indiretamente.

Esses resultados indicam claramente que os setores com maior consumo indireto de água são os que normalmente são considerados os motores da economia paranaense devido à forte influência que a demanda por seus respectivos produtos exerce na produção dos demais setores. Em outras palavras, um aumento na produção nesses campos de atividade requer insumos adicionais de outros setores locais.

Estudos anteriores relacionados aos setores-chaves e às ligações fundamentais são geralmente expressos em termos econômicos e monetários (MOHAN *et al*., 2021). Realizar um levantamento do setores-chave é considerado útil para o planejamento econômico, especialmente em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil. Para tanto, o conceito de ligações intersetoriais, para frente e

para trás, foi introduzido por Rasmussen para medir a interdependência estrutural (HIRSCHMAN, 1958; YOO; YANG, 1999; GUILHOTO, 2011; SHMELEV, 2012).

Em função dos atuais problemas ambientais, maior atenção está sendo dada ao estudo das estruturas econômicas em termos de uso de recursos e disponibilidade de água. Nesse sentido, para identificar os principais setores e os vínculos relacionados ao impacto ambiental, é mais útil avaliar a crescente demanda de água e a degradação do ecossistema. A classificação de setores e dos vínculos ambientalmente significativos deve diferir daquela obtida em uma análise puramente econômica.

A análise das ligações interindustriais pode determinar quais setores-chave têm maior impacto em todo o processo de consumo de água por meio da oferta e da demanda. Assim, os setores com índice acima de um (1) têm forte ligação, revelando que o sistema produtivo tem um grau elevado de dependência desses setores.

Em termos econômicos, a identificação dos índices de ligação ajuda na decisão do investimento: em qual setor econômico devem-se concentrar os recursos para desenvolver a economia. No aspecto ambiental, auxilia no planejamento e na gestão de recursos ambientais, além de serem mecanismos de informação na formulação de polícias públicas.

Para maior compreensão do comportamento das ligações intersetoriais e do fluxo de água incorporado aos processos de bens e serviços dentro dos setores sucroenergético, essas foram normalizadas com os indicadores de consumo direto de água, a fim de destacar o comportamento acima da média. Os setores que indicaram índices superiores a um (1) ou muito próximo a um (1) se revelaram muito acima da média; quanto maior for o índice normalizado, maiores serão seus encadeamentos para trás ou para frente. A normalização, desse modo, permite que se classifique cada setor em ordem de importância, de acordo com o seu grau de dependência.

A Tabela 10, a seguir, demonstra que os setores da Cana-de-açúcar e da Indústria Extrativistas foram considerados chaves em termos de consumo de água; logo, têm maior influência sobre o consumo de água na economia paranaense em termos de oferta e demanda de produtos hidrointensivos.

Em termos de consumo de água, esses setores se caracterizam por serem, ao mesmo tempo, grandes vendedores e compradores de água virtual na economia. Assim, se houver um aumento na demanda (W_{BL}) ou no valor agregado (W_{FL}), os setores Cana-de-açúcar e Indústria Extrativa são os exerceriam mais fortemente os impactos dessa mudança sobre os recursos hídricos do estado. Nesse sentido, é importante desenvolver tecnologias que permitam maior economia de água em tais campos de atividade.

Tabela 10 - Índices de ligações para trás (W_{BL}) e ligações para frente (W_{FL}) em termos de consumo de água

Setor		W_{BL}	W_{FL}	Tipo
Complexo sucroenergético				
1	Cana-de-açúcar	1,08	1,37	III – Setor-Chave
2	Açúcar	1,05	0,67	IV – Dependente de oferta
3	Etanol	0,98	0,83	I – Independente

Fonte: Elaboração própria.

Com base nos realizados cálculos, verifica-se que o setor do açúcar, é dependente de oferta intersetorial, mais relacionados para trás e têm encadeamentos para trás, isto é, são fortes compradores de produtos hidrointensivos. Isso significa que um aumento de uma unidade monetária em sua demanda final pode causar um aumento acima da média no consumo de água em toda a economia para suprir sua produção, em maior magnitude do que acontece em outros setores.

Esses resultados evidenciam que tais campos são fortes consumidores de água virtual (altos CIA) e altamente dependentes do fornecimento de insumos hidrointensivos de outros, o que foi indicado pela matriz de coeficientes de transação. Nesse caso, a alta dependência por insumos hidrointensivos estimula, por meio das suas compras, o uso de água diretamente pelos setores produtores e fornecedores desses insumos, ocorrendo uma ação em cadeia.

No entanto, o setor açucareiro foi afetado devido às baixas precipitações de chuvas e às altas incidências de geadas, em 2020, fazendo com que as lavouras sofressem fortes danos. O resultado disso foi a diminuição da produtividade dos canaviais e, consequentemente, uma forte redução da destinação da moagem para açúcar (CONAB, 2021).

Avaliando de forma isolada cada setor, seus indicadores e multiplicadores, tais campos são caracterizados como consumidores diretos de água e, com relação à matriz de coeficientes de transação da água, esses setores são vistos como grandes ofertantes de água na forma indireta. Assim, os setores de tipo II, que consomem água direta de forma intensiva para produzir bens, estimulam o uso de água na forma indireta por meio das vendas de insumos hidrointensivos aos demais setores econômicos.

Os setores classificados como tipo I, que geralmente são independentes, não apresentam ou apresentam baixa ligação com os demais campos de atividade. É o caso dos setores de Produção do Etanol. Esse apresentou característica variadas em termos de consumo de água, pois não comprou nem vendeu (ou compraram e vendem um baixo volume). São considerados “autossustentáveis” no quesito consumo de água. Assim, o aumento de uma unidade monetária na demanda final de todos os outros setores da economia do Paraná não afetaria a média no consumo de água nesses campos específicos, já que eles não dependem de produtos hidrointensivos.

É importante considerar que, apesar dos resultados, analisando de forma isolada, o setor da indústria de produção do etanol pode ser considerado um setor dependente de oferta, pois o W_{BL} está muito próximo a 1. Havendo um aumento na demanda de seus produtos, por exemplo uma reação do mercado, em virtude do aumento de preço dos combustíveis derivado do petróleo, a indústria terá que aumentar sua produção, o que exigirá mais insumos, principalmente a água. Neste caso, o setor pode recorrer a outros setores fornecedores de insumo, e suprir sua necessidade de água, principalmente da cana-de-açúcar, setor-chave em termo de consumo de água.

Considerando os índices de ligações para trás (W_{BL}) e para frente (W_{BL}) em termos de consumo de água, os setores do tipo III foram identificados como os mais importantes quando o tema é consumo de água. Por meio de produtos intensivos em recursos hídricos, o setor produtivo da cana-de-açúcar apresenta-se como o maior fornecedor de água do complexo sucroenergético, fornecendo para os demais, já foi explicitado.

A classificação de setores e de vínculos ambientalmente significativos deve diferir daquela obtida em uma análise puramente econômica (LENZEN, 2003). Portanto, é esse o setor que mais carrega o impacto da demanda interna.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, a abordagem proposta usou indicadores e matrizes de água especificados para diferenciar o consumo direto e indireto de água. Ademais, aplicou-se a análise de ligação para trás e para frente a fim de exibir os principais setores de uso intensivo de água que influenciam o processo de consumo total de água no complexo sucroenergético no Paraná.

Os resultados indicam que os coeficientes consumo direto de água para o setor produtivo do açúcar foi altamente elevado. Porém, a produção de cana-de-açúcar que consome uma grande quantidade de água diretamente. De acordo com as ligações para trás e para a frente, o setor de Cana-de-açúcar foi considerado o setor-chave no complexo sucroenergético. O estudo identificou que o complexo sucroenergético não possui setores de tipo II, que consomem água direta de forma intensiva para produzir bens, estimulam o uso de água na forma indireta por meio das vendas de insumos hidrointensivos aos demais setores econômicos.

As matrizes e os índices de água desenvolvidos podem fornecer uma ferramenta útil para os formuladores de políticas de planejamento econômico e de água na elaboração de soluções sustentáveis de economia hídrica. A mesma metodologia pode levar em conta não apenas fatores produtivos, mas também variáveis ambientais. Além disso, este estudo pode ter implicações práticas significativas para

outras regiões que apresentam situações semelhantes de recursos hídricos ou de competição entre indústrias.

Este estudo é basicamente uma abordagem primária parcial para avaliar a capacidade das atividades econômicas nos recursos hídricos e que poderia ser mais completo, por realizar também uma análise abrangente do consumo de água e variáveis econômicas, como valor agregado e emprego gerado por cada setor. Ademais, este trabalho pode ser aprimorado utilizando-se uma matriz de insumo-produto atual e observando as oscilações em diferentes variáveis, tais como a água virtual e o comércio inter-regional ou internacional e outras inclusões ao longo do tempo. Essas são algumas das áreas potenciais de investigação futura deste estudo.

REFERÊNCIAS

ALLAN, J. A. "Virtual Water: the Water, Food, and Trade Nexus Useful Concept or Misleading Metaphor?". **Water International**, vol. 28, n. 1, 2003.

ALLAN, J. A. "Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible". *In*: TEZCAN, B. *et al*. **Priorities for water resources allocation and management**. London: Springer, 1993.

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

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

ANA - Agência Nacional de Águas. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada e fertirrigada no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.

ARAÚJO, L. E. *et al*. "Bacias hidrográficas e impactos ambientais". **Qualit@s Revista Eletrônic**a, vol. 8, n. 1, 2009.

AVISO, K. B. *et al*. "A multi-region input-output model for optimizing virtual water trade flows in agricultural crop production". **Management of Environmental Quality**, vol. 29, n. 1, 2018.

BOUHIA, H. **Water in the macro economy**: Inte-grating economics and engineering into an analyticalmodel. Aldershot: Ash-gate Publishing Limited, 2001

BRASIL. **Anuário do Comércio Exterior Brasileiro 2020**. Brasília: Secretária Especial de Comércio Exterior e Assuntos Internacionais, 2021. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 23/03/2024.

BRASIL. **Anuário do Comércio Exterior Brasileiro de serviços 2020**. Brasília: Secretária Especial de Comércio Exterior e Assuntos Internacionais, 2020. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 23/03/2024.

BRASIL. **Balança comercial brasileira**: boletim trimestral. Brasília: Secretária Especial de Comércio Exterior e Assuntos Internacionais, 2022. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 23/03/2024.

BWAMBALE, E. *et al*. "Smart irrigation monitoring and control strategies for improving water use efficiency in precision agriculture: A review". **Agricultural Water Management**, vol. 260, 2022.

CARMO, R. L. D. *et al*. "Água virtual, escassez e gestão: o Brasil como grande" exportador" de água". **Ambiente e Sociedade**, vol. 10, 2007.

CASTELAO, R. A. *et al*. "Aplicações da Matriz Insumo-Produto em análises ambientais no Brasil: uma revisão sistemática de literatura". **Ciência e Natureza**, vol. 41, n. 17, 2019.

CHEN, W. *et al*. "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**, vol. 132, 2018.

COELHO, B. S. R. *et al*. "Análise da susceptibilidade à contaminação das unidades aquíferas no município de Jaú – SP". **Acta Ambiental Catarinense**, vol. 19, n. 1, 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: CONAB, 2021. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 25/02/2024.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília: CONAB, 2020. Disponível em: <www.conab.gov.br>. Acesso em: 25/02/2024.

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**, vol. 30, n. 3, 2021.

DENG, G. *et al*. "Effect of variation of water-use efficiency on structure of virtual water trade-analysis based on input–output model". **Water Resources Management**, vol. 29, n. 8, 2015.

DENG, G. *et al*. "Social network analysis of virtual water trade among major countries in the world". **Science of The Total Environment**, vol. 753, 2021.

DINESH KUMAR, M. "Physical transfer of water versus virtual water trade: economic and policy considerations". **Water Economics and Policy**, vol. 4, n. 03, 2018.

DUARTE, R.; YANG, H. "Input-output and water: Introduction to the special issue". **Economic Systems Research**, vol. 23 n. 4, 2011.

FENG, K. *et al*. "Comparison of bottom-up and top-down approaches to calculating the water footprints of nations". **Economic Systems Research**, vol. 23, n. 4, 2011.

GAO, D. *et al*. "Assessment of Inter-Sectoral Virtual Water Reallocation and Linkages in the Northern Tianshan Mountains, China". **Water**, vol. 2363, n. 12, 2020.

GHOSH, A. "Input-output approach in an allocation system". **Economica**, vol. 25, 1958.

GRETTON, P. "Data surveys: Australian input–output tables". **The Australian Economic Review**, vol. 38, 2005.

GUILHOTO, J. J. M. **Análise de insumo-produto**: teoria, fundamentos e aplicações. São Paulo: Editora da USP, 2011.

HADDAD, E. A. *et al*. "Water Content in Trade: A Regional Analysis for Morocco". **Portal USP** [2018]. Disponível em: <www.usp.br>. Acesso em: 23/02/2024.

HASSAN, A. *et al*. "Virtual water trade in industrial products: evidence from Malaysia". **Environment, Development and Sustainability**, vol. 19, n. 3, 2017.

HIRSCHMAN, A. O. **The Strategy of Economic Development**. New Jersey: Princenton University Press, 1958.

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, 2002.

HUANG, M. *et al*. "Research on the Measurement and Influencing Factors of Implicit Water Resources in Import and Export Trade from the Perspective of Global Value Chains". **Water**, vol. 13, n. 11, 2021.

HUBACEK, K.; SUN, L. "Economic and societal changes in China and their effects onwater use a scenario analysis". **Journal of Industrial Ecology**, vol. 9, n. 1, 2005.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE, Contas nacionais, Trimestrais, Indicadores de Volume e Valores Correntes, Out-Dez, 2020**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021a. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23/03/2024.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE**: estatística mensal da produção agropecuária. Rio de Janeiro: IBGE, 2021b. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 23/03/2024.

IPEA - Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas. **Desempenho do PIB no terceiro trimestre de 2021**. Brasília: IPEA, 2022a. Disponível em: <www.ipea.gov.br>. Acesso em: 23/03/2024.

JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E. **Água e sustentabilidade**: desafios, perspectivas e soluções. São Paulo: Editora da USP, 2017.

LENZEN, M. "Environmentally important paths, linkages and key sectors in the Australian economy". **Structural Change and Economic Dynamics**, n. 14, 2003.

LIU, X. *et al*. "Can virtual water trade save water resources?" **Water Research**, vol. 163, 2019.

MENDES, C. S. *et al*. „Uma Análise do Insumo-Produto do Setor Lácteo Mineiro". **Revista Econômica do Nordeste**, vol. 42, n. 3, 2011.

MERRETT, S. "Virtual water and Occam's Razor". **Water International**, vol. 28, n. 1, 2003.

MILLER, R. E.; BLAIR, P. D. **Input-output analysis**: foundations and extensions. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

MOHAN, G. *et al*. "An extended Input–Output framework for evaluating industrial sectors and provincial-level water consumption in Indonesia". **Water Resources and Industry**, vol. 25, 2021.

MORIMOTO, Y. “On Aggregation Problems in Input-Output Analysis”. **Review of Economic Studies**, vol. 37, n. 109, 1970.

OECD.; FAO. **FAO Agricultural Outlook 2021-2030**. Paris: OECD, 2021. Disponível em: <www.oecd.org>. Acesso em: 23/03/2024.

OKI, T.; KANAE, S. “Virtual water trade and world water resources”. **Water Science and Technology**, vol. 49, n. 7, 2004.

PARANÁ. **Relatório de importações e exportações**. Curitiba: Agência Estadual de Notícias, 2022a. Disponível em: <www.aen.pr.gov.br>. Acesso em: 23/02/2024.

PARANÁ. **Sistema Rodoviário Estadual 2020**. Curitiba: Secretaria de Infraestrutura e Logística, 2020. Disponível em: <www.der.pr.gov.br>. Acesso em: 21/04/2024.

PINTO-COELHO, R. M.; HEAVENS, K. **Crise nas águas**: educação, ciência e governança juntas evitando conflitos gerados pela escassez e pela perda da qualidade das águas. Belo Horizonte: Editora Recóleo, 2014.

REDDY, T. *et al*. “Literature Review: Applicability of Water Footprints in South Africa”. **Water Research Commission**, vol. 1, 2014.

RODRÍGUEZ-SERRANO, I. *et al*. “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**, vol. 19, n. 5, 2017.

SHMELEV, S. E. “A key sector approach to the environmentally extended input-output analysis of the UK economy”. *In*: SHMELEV, S.; SHMELEVA, I. (eds.). **Sustainability Analysis**. London: Palgrave Macmillan, 2012.

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**, vol. 622, 2018.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília: SNIS, 2021. Disponível em: <www.gov.br>. Acesso em: 23/04/2024.

SOARES, R. B. *et al*. “Macroeconomic Accounting of Water Resources: An Input-Output Approach to Linkage Analysis and Impact Indicators Applied to the State of Ceará, Brazil”. **Water**, vol. 13, 2021.

SUN, S. K. *et al*. “Geographical evolution of agricultural production in China and its effects on water stress, economy, and the environment: the virtual water perspective”. **Water Resources Research**, vol. 55, n. 5, 2019.

THÉRY, H.; MELLO-THÉRY, N. A. “O contexto da crise hídrica”. **Geousp – Espaço e Tempo**, vol. 19, n. 3, 2016.

TIAN, X. *et al*. “Evolution of China's water footprint and virtual water trade: A global trade assessment”. **Environment International**, vol. 121, 2018.

UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural Organization. **IX Meeting of National Committees and Focal Points of the International Hydrological Program of UNESCO for Latin**

America and the Caribbean (IHP-LAC). Dominican Republic: UNESCO, 2011. Disponível em: <www.unesco.org>. Acesso em: 23/02/2023.

ÚNICA - União da Indústria de Cana-de-Açúcar. "Moagem da Cana-de-açúcar e Produção de Açúcar e Etanol". **ÚNICA** [2022]. Disponível em: <www.unica.com.br>. Acesso em: 23/03/2024.

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: Ipea, 2022.

WANG, L. *et al.* "Virtual scarce water flows and economic benefits of the Belt and Road Initiative". **Journal of Cleaner Production**, vol. 253, 2020.

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

WIEDMANN, T.; LENZEN, M. "Environmental and social footprints of international trade". **Nature Geoscience**, vol. 11, n. 5, 2018.

WORLD BANK. **Global Economic Prospects**. Washington: World Bank, 2022.

YANG, G. Q. *et al*. "Coordinated development of agricultural water resources and the socio-economy in Shanxi province considering uncertainty". **Irrigation and Drainage**, vol. 70, n. 4, 2021.

YOO, S. H.; YANG, C. Y. "Role of water utility in the Korean national economy". **Water Resour**, n. 15, 1999.

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**, vol. 9, n. 2, 2020.

ZHANG, H. *et al*. "A two-stage factorial-analysis-based input-output model for virtual-water quantification and metabolic-network identification in Kyrgyzstan". **Journal of Cleaner Production**, vol. 301, 2021.

ZHANG, Y. *et al*. "Water Footprint and Virtual Water Accounting for China Using a Multi-Regional Input-Output Model". **Water**, vol. 11, n. 34, 2019.

ZHAO, X. *et al*. "Physical and virtual water transfers for regional water stress alleviation in China". **Proceedings of the National Academy of Sciences**, vol. 112, n. 4, 2015.



BOLETIM DE CONJUNTURA (BOCA)

Ano VI | Volume 18 | Nº 52 | Boa Vista |2024

http://www.ioles.com.br/boca

Editor chefe:

Elói Martins Senhoras

Conselho Editorial

Antonio Ozai da Silva, Universidade Estadual de Maringá

Vitor Stuart Gabriel de Pieri, Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Charles Pennaforte, Universidade Federal de Pelotas

Elói Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima

Julio Burdman, Universidad de Buenos Aires, Argentina

Patrícia Nasser de Carvalho, Universidade Federal de Minas Gerais

Conselho Científico

Claudete de Castro Silva Vitte, Universidade Estadual de Campinas

Fabiano de Araújo Moreira, Universidade de São Paulo

Flávia Carolina de Resende Fagundes, Universidade Feevale

Hudson do Vale de Oliveira, Instituto Federal de Roraima

Laodicéia Amorim Weersma, Universidade de Fortaleza

Marcos Antônio Fávaro Martins, Universidade Paulista

Marcos Leandro Mondardo, Universidade Federal da Grande Dourados

Reinaldo Miranda de Sá Teles, Universidade de São Paulo

Rozane Pereira Ignácio, Universidade Estadual de Roraima