

Produto Interno Bruto e pegada hídrica do agronegócio: comparativo entre países

Gross Domestic Product and water footprint of agribusiness: comparative between countries

Umberto Antonio Sesso Filho^{1,2} , Ricardo Luís Lopes³ , Carlos Alberto Gonçalves Junior⁴ , Emerson Guzzi Zuan Esteves⁵ , Patrícia Pompermayer Sesso⁶ 

¹ Programa de Pós-graduação em Economia Regional, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina (PR), Brasil. E-mail: umasesso@uel.br

² Programa de Pós-graduação em Administração, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina (PR), Brasil.

³ Programa de Pós-graduação em Economia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), Maringá (PR), Brasil. E-mail: rlopes@uem.br

⁴ Programa de Pós-graduação em Teoria Econômica, Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Toledo (PR), Brasil. E-mail: carlosalbertojr@hotmail.com

⁵ Programa de Pós-graduação em Economia Regional, Universidade Estadual de Londrina (UEL), Londrina (PR), Brasil. E-mail: emerson.esteves@uel.br

⁶ Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná, Londrina (PR), Brasil. E-mail: papomper2004@yahoo.com.br

Como citar: Sesso Filho, U. A., Lopes, R. L., Gonçalves Junior, C. A., Zuan Esteves, E. G., & Pompermayer Sesso, P. (2024). Produto Interno Bruto e pegada hídrica do agronegócio: comparativo entre países. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 62(4), e274229. <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2023.274229pt>

Resumo: O objetivo do presente estudo é dimensionar o agronegócio dos países em termos de renda (Produto Interno Bruto - PIB) e água (pegada hídrica), além de estimar um indicador de sustentabilidade (água por unidade de renda). A metodologia é baseada na matriz insumo-produto e foi aplicada para 189 países com enfoque sobre as vinte maiores economias (PIB) no ano de 2015. O PIB do agronegócio mundial era de US\$12,3 trilhões e a pegada hídrica de 151 trilhões de metros cúbicos, os valores representavam respectivamente 18% e 97,5% dos totais do sistema produtivo. A participação da renda do agronegócio no total do sistema produtivo dos países variou entre 4% e 61%. Os maiores valores do PIB do agronegócio foram obtidos para a China (US\$ 2,5 trilhões), Estados Unidos (US\$ 1,4 trilhão), Índia (US\$ 0,67 trilhão), Japão (US\$ 0,5 trilhão) e Brasil (US\$ 0,43 trilhão). O custo ambiental do agronegócio mensurado em metros cúbicos de água para mil dólares de geração de renda (m³/US\$) variou entre menos de cem metros cúbicos para cada mil dólares de renda gerada para mais de 200 mil, o que indica que existe a possibilidade do aumento da eficiência do uso da água e sustentabilidade por meio do desenvolvimento de novas tecnologias.

Palavras-chave: água, pegada hídrica, agronegócio, sustentabilidade, insumo-produto.

Abstract: The objective of this study is to measure the countries' agribusiness in terms of income (Gross Domestic Product - GDP) and water (water footprint), in addition to estimating a sustainability indicator (water per unit of income). The methodology is based on the input-output matrix and was applied to 189 countries with a focus on the twenty largest economies (GDP) in 2015. The GDP of world agribusiness was US\$12.3 trillion and the water footprint of 151 trillion cubic meters, the values represented respectively 18% and 97.5% of the total production system. The share of agribusiness income in the total productive system of the countries ranged from 4% to 61%. The highest agribusiness GDP figures were obtained for China (US\$ 2.5 trillion), the United States (US\$ 1.4 trillion), India (US\$ 0.67 trillion), Japan (US\$ 0.5 trillion) and Brazil (US\$ 0.43 trillion). The environmental cost of agribusiness measured in cubic meters of water per thousand dollars of income generation (m³/US\$) ranged from less than one hundred cubic meters for every thousand dollars of income generated to more than 200 thousand, which indicates that there is the possibility of increasing the efficiency of water use and sustainability through the development of new technologies.

Keywords: water, water footprint, agribusiness, sustainability, input-output.



1 Introdução

A escassez de água é um problema crescente em muitas partes do mundo. A demanda por água está aumentando devido ao crescimento populacional, ao desenvolvimento industrial e à expansão da agricultura. Simultaneamente, a oferta de água está diminuindo devido à poluição, ao esgotamento dos aquíferos e à mudança nos padrões climáticos. As mudanças climáticas estão exacerbando a escassez de água. O aumento das temperaturas globais está levando a mudanças nos padrões de precipitação resultando em períodos de seca mais longos e intensos em algumas áreas e inundações em outras. Além disso, o derretimento das calotas polares e dos glaciares está elevando o nível do mar, o que pode levar à salinização dos recursos hídricos costeiros. Nesse processo, a oferta de água adequada para o desenvolvimento das atividades humanas se tornará mais escassa, o que aumenta a importância da mensuração do uso da água (Hoekstra & Chapagain, 2008).

Considerando a maior escassez de água devido aos fatores elencados, torna-se essencial a estimativa do uso desse recurso para as atividades econômicas e com este objetivo, desenvolveu-se o conceito de pegada hídrica, a qual é definida como o volume de água doce usado durante a produção e consumo de bens e serviços ao longo da cadeia produtiva. A estimativa do uso da água elaborada por Hoekstra & Hung (2002) leva em consideração a interdependência entre os setores da economia e, portanto, os efeitos direto e indireto da demanda por água. O setor agropecuário representa a maior demanda desse recurso (aproximadamente 86% da pegada hídrica da humanidade) e a abordagem de cadeias produtivas é necessária para a compreensão do processo de mensuração da pegada hídrica (Hoekstra & Chapagain, 2008).

O setor agropecuário, o qual apresenta a maior demanda por água entre as atividades humanas, provê matéria prima para diferentes setores da economia participando de diversas cadeias produtivas. Dentro dessa visão sistêmica, Davis & Goldberg (1957) desenvolveram o conceito de agronegócio. Para os autores, o agronegócio compreende o conjunto de atividades que abrangem o fornecimento de insumos, produção no campo, industrialização, comércio e serviços. A divisão em quatro agregados, (I) Insumos, (II) Agropecuária, (III) Indústria e (IV) Serviços. Desta forma, unindo as ideias de Hoekstra & Hung (2002) e Davis & Goldberg (1957), pode-se estimar a pegada hídrica conjunta das diversas cadeias produtivas que participam do agronegócio.

O objetivo geral deste estudo é estimar a renda (Produto Interno Bruto - PIB), volume utilizado de água (pegada hídrica interna) e um indicador de sustentabilidade do agronegócio (água por unidade de renda), este último mensura a eficiência do uso da água e a sustentabilidade do processo produtivo. A metodologia é baseada na matriz insumo-produto e foi aplicada para 189 países e o restante do mundo, sendo os resultados detalhados para as vinte maiores economias no ano de 2015.

Os resultados do estudo tornam possível mensurar os valores absolutos e a participação do agronegócio na economia em termos de Produto Interno Bruto e uso da água (pegada hídrica). Além disso, a estimativa da pegada hídrica por unidade de renda gerada nos agregados do agronegócio como um indicador de eficiência no uso da água permite realizar a análise comparativa entre países e elaborar políticas para aumentar a sustentabilidade do agronegócio. O estudo avança quando comparado a pesquisas anteriores pela relação estabelecida entre a pegada hídrica do agronegócio e a respectiva geração de renda, abrangência em número de países, além de analisar o agronegócio como um todo, incluindo os agregados insumos, agropecuária, indústria e serviços.

2 Fundamentação teórica

O agronegócio pode ser compreendido como um processo de agregação de valor no qual os produtos agropecuários *in natura* são processados e adicionados de serviços para atender ao consumidor. Dentro desse processo, Davis & Goldberg (1957) dividiram o agronegócio

em quatro agregados: (I) Insumos, (II) Agropecuária, (III) Indústria e (IV) Serviços. Os Insumos correspondem a sementes, mudas, agroquímicos, combustíveis, serviços financeiros e todos os bens e atividades que viabilizam a produção agropecuária. A Agropecuária envolve a produção vegetal, animal e extrativismo que visam à produção de alimentos, fibras e matéria prima para diferentes indústrias tais como têxtil, madeira, papel e celulose, alimentícia, fumo e outras. A agroindústria engloba todo tipo de processamento que utiliza como principal matéria prima os produtos agropecuários. Os serviços de comércio, transporte, *marketing* e outros que são adicionados aos produtos agropecuários e agroindustriais compõem o quarto agregado.

Estudos relacionando a geração de renda do agronegócio e variáveis ambientais, como consumo de energia e emissão de gases, foram desenvolvidos para analisar a sustentabilidade do agronegócio ou estimar sua participação na economia (Produto Interno Bruto) e relacioná-la com o nível de desenvolvimento econômico dos países. Sesso Filho et al. (2019), Bajan & Mrówczyńska-Kamińska (2020) e Pompermayer Sesso et al. (2023) realizaram estudos sobre emissões de gases de efeito estufa (GEE) no agronegócio, os autores consideraram que o agronegócio é mais sustentável que o sistema econômico como um todo por possuir uma relação de emissões por unidade de renda menor do que a da economia. No entanto, o agronegócio apresenta alta participação no total de emissões, o que torna importante analisar sua estrutura produtiva para a mitigação de GEE, no intuito de contribuir para asolução do problema das mudanças climáticas. A relação entre a participação do agronegócio na economia e o desenvolvimento foi o tema dos estudos de Yan et al. (2011), Amarante & Sesso Filho (2020) & Sesso Filho et al. (2022), que concluíram que o crescimento da renda *per capita* leva à diminuição da participação do agronegócio na economia, assim como ao aumento da participação da indústria (agregado III) e serviços (agregado IV) na renda gerada no agronegócio de países e regiões subnacionais.

O agronegócio é importante na análise da sustentabilidade dos países, tanto em termos de emissões de dióxido de carbono, como em relação ao uso da água. Estudos sobre a pegada hídrica usualmente têm enfoque na agricultura, isso ocorre porque aproximadamente 86% da pegada hídrica da humanidade está no setor agrícola (Hoekstra & Chapagain, 2008). Normalmente, a pegada hídrica é contabilizada em metros cúbicos dentro de um determinado período (mês, ano) e peso de produto (quilogramas ou toneladas). Indicadores de sustentabilidade podem ser elaborados dividindo a pegada hídrica por número de habitantes da região ou unidade de produção para analisar comparativamente as regiões.

A pegada hídrica é uma medida da apropriação da água doce por meio de seu uso para as atividades humanas (pegada hídrica azul e verde) e o efeito da poluição da água por essas atividades é a pegada hídrica cinza (Hoekstra, 2008). A água azul se refere à água superficial e subterrânea em lagos, rios e aquíferos. A água verde é a precipitação sobre a terra que não escoou ou recarrega os aquíferos, mas é armazenada temporariamente sobre o solo ou a vegetação e então, é evaporada ou transpirada pelas plantas (Aldaya & Hoekstra, 2010; Mekonnen & Hoekstra, 2010). A diferenciação e mensuração das pegadas hídricas azul e verde são importantes, pois os impactos ambientais, econômicos e sociais e os custos de oportunidade do uso de águas superficiais e subterrâneas diferem muito daqueles do uso da água da chuva para as atividades humanas (Falkenmark & Rockström, 2004; Hoekstra & Chapagain, 2008). A água cinza é o volume de água doce necessário para a dissolução dos poluentes para atingir concentrações naturais e de padrões de qualidade da água. O conceito de pegada hídrica cinza é de que a mensuração da poluição pode ser definida em termos de volume de água necessário para diluir os poluentes de forma que eles se tornem inofensivos (Hoekstra et al., 2009).

Os primeiros estudos sobre pegada hídrica possuíam como objetivo principal avaliar o comércio de água dos produtos em escala global. Pesquisas posteriores tinham como objetivo a

quantificação rigorosa dos três componentes (água azul, verde e cinza) para culturas e em áreas geográficas específicas. Estudos mais recentes se preocupam em estabelecer metodologias e ferramentas para a mensuração da pegada hídrica (Lovarelli et al., 2016). Bancos de dados sobre o uso da água são elaborados para auxiliar nas análises sobre o tema, como exemplo tem-se o trabalho de Tamea et al. (2021), no qual os autores elaboraram um banco de dados representando a quantidade de água necessária para a produção de um bem e virtualmente trocada com o comércio internacional no período 1986-2016.

A pegada hídrica média anual global no período 1996-2005 foi de 9.087 Gm³/ano (74% verde, 11% azul, 15% cinza), sendo que a agricultura contribuiu com 92%. Em 2011, a pegada hídrica global da produção agrícola foi de 8.362 Gm³/ano, sendo 80% verde, 11% azul e 9% cinza (Hoekstra & Mekonnen, 2012). A previsão é que a demanda mundial de água aumente entre 20% e 30% entre 2010 e 2050 (Burek et al., 2016). A produção agrícola é o principal consumidor de água e a expectativa é de que o crescimento populacional, o crescimento da renda e as mudanças alimentares aumentem a demanda por água. Prevê-se que a pegada hídrica aumente em até 22% devido às alterações climáticas e ao uso do solo até 2090. A produção agrícola atual é insustentável do ponto de vista do uso da água, principalmente em relação à pegada hídrica azul. Isso exige ações para melhorar a sustentabilidade da água e proteger os ecossistemas que dependem dela (Mekonnen & Gerbens-Leenes, 2020).

Considerando que a demanda por recursos naturais está crescendo e espera-se que tais recursos sejam mais escassos no futuro, torna-se necessário o desenvolvimento da gestão eficiente da água na agricultura para satisfazer a crescente demanda de alimentos e reduzir a pobreza e a fome de uma forma sustentável. A discussão é como o mundo irá alimentar a população global sem impactar ainda mais a água doce e os ecossistemas. As soluções indicadas por estudos científicos são a intensificação sustentável da produção agrícola, o que implica no uso e adaptação de tecnologias para o aumento da produtividade, principalmente em terras que apresentam baixo rendimento na produção agrícola. Isso levaria à menor necessidade de desmatamento para o aumento da produção total (Tilman et al., 2011; Cassman & Grassini, 2020; Drechsel et al., 2015; Garnett et al., 2013; Godfray et al., 2010). Além disso, existe a possibilidade de estimular mudanças na dieta humana com substituição de alimentos que demandam grande volume de água na produção por outros com menor pegada hídrica, além da redução do desperdício e perda de alimentos (Foley et al., 2011; Jalava et al., 2016; Kummu et al., 2012).

Para compreender os impactos da variação da alimentação humana e o desperdício de alimentos sobre o consumo de água, é importante conhecer o fato de que a eficiência no uso da água é diferente entre os produtos agropecuários. A pegada hídrica média por caloria da carne bovina é 20 vezes maior do que a dos cereais e raízes ricas em amido. A pegada hídrica por grama de proteína do leite, ovos e carne de frango é 1,5 vezes maior do que a das leguminosas (Mekonnen & Hoekstra, 2012). Além disso, existe variação do consumo de água na produção pecuária, sendo que a pegada hídrica da carne de bovinos de corte (15.400 m³/ton corresponde à média global) é muito maior do que as pegadas de carne de ovinos (10.400 m³/ton), suínos (6.000 m³/ton), caprinos (5.500 m³/ton), ou frango (4.300 m³/ton). A pegada hídrica média global do ovo de galinha é de 3.300 m³/ton, enquanto a pegada hídrica do leite de vaca chega a 1.000 m³/ton (Mekonnen & Hoekstra, 2011).

A menor eficiência da conversão alimentar para produtos de origem animal é em grande parte responsável pela pegada hídrica relativamente alta desses produtos em comparação com os vegetais. Os produtos de origem animal provenientes de sistemas industriais (confinamento) geralmente consomem e poluem mais recursos hídricos subterrâneos e superficiais do que os produtos animais provenientes de sistemas de pastoreio ou mistos. O aumento do consumo

mundial de carne e a intensificação dos sistemas de produção animal colocarão ainda mais pressão sobre os recursos globais de água doce nas próximas décadas (Mekonnen & Hoekstra, 2011).

Muitas nações economizam recursos hídricos domésticos importando produtos intensivos em água e exportando produtos que são menos intensivos em água, essa estratégia é definida na literatura como comércio de água virtual (Yang et al., 2006). A economia nacional de água através do comércio internacional pode implicar a redução do estresse hídrico global se o fluxo de água virtual for de locais com alta produtividade hídrica para locais com baixa produtividade hídrica.

As estimativas mostraram que a quantidade total de água que teria sido necessária nos países importadores se todos os produtos agrícolas importados tivessem sido produzidos internamente é de 1605 Gm³/Ano. Esses produtos são, no entanto, produzidos com apenas 1253 Gm³/ano nos países exportadores, economizando os recursos hídricos globais em 352 Gm³/Ano. Essa economia representa 28% dos fluxos internacionais de água relacionados ao comércio de produtos agrícolas e 6% do uso global de água na agricultura (Chapagain et al., 2006).

Entretanto, o comércio de água virtual é dominado pela água virtual verde, que constitui um baixo custo de oportunidade de utilização, em oposição à água virtual azul (Yang et al., 2006). Cerca de 52% da pegada hídrica azul do consumo global e 43% dos fluxos internacionais de água virtual azul vêm de locais onde o fluxo ambiental sustentável é violado. Aproximadamente 22% da violação da sustentabilidade do fluxo ambiental da pegada hídrica azul do consumo global ocorre fora dos países de consumo específicos, indicando que vários deles externalizaram os seus impactos (Mekonnen & Hoekstra, 2020).

Considerando o comércio internacional e seus impactos sobre o uso da água, existem incertezas na contabilização e na estimativa da escala da poupança desse recurso, pois ocorrem implicações negativas na poupança global de água no que diz respeito à eficiência de seu uso e à segurança alimentar nos países importadores, e para o meio ambiente nos países exportadores. As soluções para a escassez do recurso são a ampliação da agricultura de sequeiro, para melhorar a segurança alimentar global e o ganho de eficiência no uso da água, para maior sustentabilidade ambiental (Yang et al., 2006).

A importância do setor agropecuário na pegada hídrica total e a necessidade de mensurar a eficiência no uso da água no agronegócio são a motivação do presente estudo, o qual avança em relação a pesquisas anteriores por mensurar a pegada hídrica e geração de renda no agronegócio para uma gama de países (base de dados de 189 países) dentro de uma visão abrangente de quatro agregados (insumos, agropecuária, indústria e serviços) estimando a necessidade de água por unidade de renda gerada. A visão sistêmica contribui para estimar o custo da geração de renda em termos ambientais, neste caso, a pegada hídrica foi dividida em água azul, verde e cinza.

3 Metodologia

A matriz insumo-produto é um modelo econômico que apresenta as relações entre os setores da economia por meio dos fluxos de bens e serviços. Portanto, os dados demonstram as relações intersetoriais dentro do sistema econômico de uma região. Os dados contidos na matriz insumo-produto proporcionam uma visão detalhada da estrutura produtiva e permitem mensurar o nível de interligação setorial da economia. É possível estimar impactos de variações na demanda final sobre os diversos setores para variáveis econômicas, demográficas e ambientais (Leontief, 1951; Miller & Blair, 2009).

O Quadro 1 apresenta, de forma esquemática, um exemplo de uma tabela de insumo-produto para uma economia com dois setores, pode-se observar os diversos fluxos de bens e serviços entre os dois setores (consumo intermediário) que são utilizados como insumos no processo produtivo.

Os componentes da demanda final adquirem bens e serviços finais dos respectivos setores. Existem diversas contas satélites que podem ser obtidas com variáveis ambientais (emissões atmosféricas e água), materiais (minerais) e demográficas (pessoas ocupadas, idade e qualificação).

Quadro 1. Matriz insumo-produto para uma economia com 2 setores.

Componente	Setor 1	Setor 2	Consumo Famílias	Governo	Investimento	Exportações	Total
Setor 1	z_{11}	z_{12}	c_1	g_1	i_1	e_1	x_1
Setor 2	z_{21}	z_{22}	c_2	g_2	i_2	e_2	x_2
Importações	m_1	m_2	m_c	m_g	m_i		m
Impostos	t_1	t_2	t_c	t_g	t_i	t_e	t
Valor Adicionado	w_1	w_2					w
Total	x_1	x_2	c	g	i	e	

Onde: z_{ij} é o fluxo monetário entre os setores i e j ; c_i é o consumo das famílias dos produtos do setor i ; g_i é o gasto do governo junto ao setor i ; i_i é a demanda por bens de investimento produzidos no setor i ; e_i é o total exportado pelo setor i ; x_i é o total de produção do setor i ; t_i é o total de impostos indiretos líquidos pagos por i ; m_i é a importação realizada pelo setor i ; w_i é o valor adicionado gerado pelo setor i . Fonte: adaptado de Miller & Blair (2009).

Para o presente estudo, a metodologia de dimensionamento do agronegócio utiliza os dados das matrizes de insumo-produto de 189 países. A fonte dos dados utilizada neste artigo foi o Global Supply Chain Database (EORA, 2023), a qual disponibiliza matrizes insumo-produto de 190 regiões (189 países e o restante do mundo) com vinte e seis setores. A base de dados também fornece a pegada hídrica dos setores (azul, verde e cinza). Os valores monetários estão em milhões de dólares correntes do ano de 2015 e a pegada hídrica em milhões de metros cúbicos anuais.

A construção das matrizes e contas satélites ambientais da base de dados utilizada está descrita em Lenzen et al. (2012, 2013). Os setores das matrizes insumo-produto do EORA (2023) são apresentados no Quadro 2. Os setores primários pertencentes ao agronegócio são: (1) Agropecuária e (2) Pesca e aquicultura, os quais formam o agregado II e fornecem matéria prima para os setores agroindustriais; (4) Alimentos e bebidas; (5) Têxteis e vestuário; e (6) Madeira e papel, que pertencem ao agregado III. O agregado I é composto por insumos, bens e serviços, que são consumidos pelos setores do agregado II. Os serviços adicionados ao longo do processo (transporte, comercialização e outros) compõem o agregado IV.

Quadro 2. Setores das matrizes insumo-produto dos países da base de dados EORA, 2015.

Setor	Setores es
(1)	Agropecuária
(2)	Pesca e aquicultura
(3)	Extrativismo mineral
(4)	Alimentos e bebidas
(5)	Têxteis e vestuário
(6)	Madeira e papel
(7)	Produtos químicos e de minerais não metálicos
(8)	Produtos de metal
(9)	Máquinas e equipamentos
(10)	Equipamentos de transporte
(11)	Outras manufaturas
(12)	Reciclagem
(13)	Eletricidade, gás e água
(14)	Construção
(15)	Manutenção e reparo de máquinas e equipamentos

Fonte: EORA (2023).

Quadro 2. Continuação...

Setor Setores es
(16) Comércio atacadista
(17) Comércio varejista
(18) Alojamento e alimentação
(19) Transporte
(20) Correios e telecomunicações
(21) Intermediação financeira
(22) Administração pública
(23) Educação, saúde e outros serviços
(24) Serviços domésticos
(25) Outros serviços
(26) Reexportação e reimportação

Fonte: EORA (2023).

Os cálculos do dimensionamento do agronegócio em termos de Produto Interno Bruto e pegada hídrica foram adaptados de Furtuoso & Guilhoto (2003) e Bajan & Mrówczyńska-Kamińska (2020), ambos fundamentados na matriz insumo-produto. As estimativas são baseadas na divisão proposta por Davis & Goldberg (1957) em quatro agregados do agronegócio: (I) Insumos; (II) Agropecuária; (III) Indústria; e (IV) Serviços. O agregado (I) é composto pelos insumos utilizados nos setores (1) Agropecuária e (2) Pesca e aquicultura. Inicialmente, para o cálculo do Agregado I, identificam-se dois componentes na Equação 1:

$$PIB_I = PIB_{I1} + PIB_{I2} \quad (1)$$

Na Equação 1, tem-se:

PIB_I = PIB do agregado I, insumos da produção agropecuária,

PIB_{I1} = PIB do agregado I, insumos da Agropecuária ($k=1$), e

PIB_{I2} = PIB do agregado I, insumos da Pesca e aquicultura ($k=2$).

Os valores dos insumos dos setores (1) Agropecuária e (2) Pesca e aquicultura estão nas respectivas colunas de consumo intermediário, os quais são multiplicados pelos coeficientes de valor adicionado a preços de mercado setoriais (CVA_i), onde tem-se $i = 26$ setores. Para obter os Coeficientes de Valor Adicionado dos setores (CVA_i), deve-se dividir o Valor Adicionado a Preços de Mercado (VA_{PM_i}) pela Produção do Setor (X_i) de acordo com a Equação 2,

$$CVA_i = \frac{VA_{PM_i}}{X_i} \quad (2)$$

O Valor Adicionado a preços de mercado (VA_{PM}) ou Produto Interno Bruto é calculado pela soma do valor adicionado a preços básicos (VA_{PB}) aos Impostos Indiretos Líquidos (IIL) sobre produtos, assim tem-se $VA_{PM} = VA_{PB} + IIL$.

A mensuração do Produto Interno Bruto do agregado (I) para cada setor (PIB_{Ik}) é realizada por meio da Equação 3, na qual os valores dos insumos dos setores (1) Agropecuária e (2) Pesca e aquicultura são multiplicados pelos respectivos coeficientes de valor adicionado e, posteriormente, somados:

$$PIB_{Ik} = \sum_{i=1}^n z_{ik} \times CVA_i \quad (3)$$

Na Equação 3, tem-se:

PIB_{Ik} é o PIB do agregado I (insumos) para Agropecuária ($k=1$) e Pesca e aquicultura ($k=2$),

z_{ik} é o valor total do insumo do setor i para Agropecuária ($k=1$) e Pesca e aquicultura ($k=2$),
 CVA_i é o coeficiente de valor adicionado do setor i ,
 $i = 1, 2, \dots, 26$ setores da economia.

A mensuração do Produto Interno Bruto do Agregado II (PIB_{IIk}) apresentado na Equação 4 considera o Valor Adicionado a preços de mercado dos setores (1) Agropecuária e (2) Pesca e aquicultura e subtrai o valor adicionado referente aos insumos do próprio setor.

$$PIB_{IIk} = VA_{PMk} - z_{kk} \times CVA_k \quad (4)$$

Na Equação 4, tem-se:

PIB_{IIk} é o PIB do agregado II para a Agropecuária $k=1$ e Pesca e aquicultura $k=2$,
 VA_{PMk} é o Valor Adicionado a preços de mercado dos setores (1) Agropecuária e (2) Pesca e aquicultura.

O valor total do Produto Interno Bruto do Agregado II é calculado por meio da soma dos valores adicionados dos setores primários, segundo a Equação 5:

$$PIB_{II} = PIB_{II1} + PIB_{II2} \quad (5)$$

Na Equação 5, tem-se:

PIB_{II} = PIB do agregado II, Produto Interno Bruto do setor Agropecuário.

PIB_{II1} = PIB do agregado II, (1) Agropecuária,

PIB_{II2} = PIB do agregado II, (2) Pesca e aquicultura.

O Agregado (III) abrange os setores industriais cuja principal matéria prima é proveniente do Agregado (II): (4) Alimentos e Bebidas, (5) Têxteis e vestuário e (6) Madeira e Papel. O cálculo do Produto Interno Bruto do Agregado III é a soma dos valores adicionados a preços de mercado dos setores industriais do agronegócio subtraídos dos valores adicionados desses setores referentes que foram usados como insumos do Agregado II. A Equação 6 realiza este cálculo:

$$PIB_{IIIk} = \sum_{q=4}^6 (VA_{PMq} - z_{kq} \times CVA_q) \quad (6)$$

Na Equação 6, tem-se:

PIB_{IIIk} é o Produto Interno Bruto do agregado agroindústria (III),

$k = 1, 2$. Agropecuária $k=1$ e Pesca e aquicultura $k=2$,

$q =$ setores pertencentes à agroindústria (4, 5 e 6).

O valor total do Produto Interno Bruto do Agregado III é calculado por meio da Equação 7:

$$PIB_{III} = PIB_{III1} + PIB_{III2} \quad (7)$$

Na Equação 7, tem-se:

PIB_{III} = PIB do agregado III, Produto Interno Bruto do setor Agropecuário.

PIB_{III1} = PIB do agregado III, (1) Agropecuária,

PIB_{III2} = PIB do agregado III, (2) Pesca e aquicultura.

O agregado (IV) engloba os setores do comércio e serviços dentro do agronegócio, que correspondem aos setores 15 a 25 dos vinte e seis existentes na matriz insumo-produto dos países. O Produto Interno Bruto do agregado (IV) de serviços será proporcional à participação dos produtos agropecuários e agroindustriais, comércio e serviços e é estimado pela participação dos produtos agropecuários e agroindustriais na demanda final doméstica (DFD), que é o valor da demanda final global (DFD), subtraindo-se os impostos líquidos (ILL_{DP}) e importações

(IM_{DF}), tem-se, então, que $DFD = DFG - ILL_{DF} - PI_{DF}$. O Valor adicionado a preços de mercado dos setores de serviços é somado:

$$VA_{PMS} = \sum_{s=1}^m VA_{PMS_s} \quad (8)$$

Na Equação 8, tem-se:

VA_{PMS} é o Valor Adicionado a Preços de Mercado dos setores de serviços,

m é o número de setores de serviços (setores 15 a 25 dos vinte e seis setores da matriz insumo-produto).

VA_{PMS_s} é o valor adicionado a preços de mercado de cada setor de serviços.

O Produto Interno Bruto do agregado (IV) referente ao agronegócio será dado pela participação dos setores do agronegócio na demanda final doméstica vezes o Produto Interno Bruto total dos setores de serviços, estimado na Equação 9:

$$PIB_{IV} = VA_{PMS} \times \frac{\sum_{k=1}^n DF_k + \sum_{q=1}^m DF_q}{DFD} - \sum_{k=1}^n \sum_{s=1}^m z_{ks} \times CVA_{ks} \quad (9)$$

Na Equação 9, tem-se:

PIB_{IV} é o Produto Interno Bruto do agregado IV,

VA_{PMS} é o Valor Adicionado a Preços de Mercado dos setores de serviços,

n é o número de setores básicos, que são Agropecuária $k=1$ e Pesca $k=2$,

q é o número de setores agroindustriais, que são três: Alimentos e Bebidas, Têxteis e vestuário e Madeira e Papel,

DF_k = demanda final da Agropecuária ($k=1$) e Pesca ($k=2$)

DF_q = demanda final dos setores agroindustriais

m é o número de setores de serviços (setores 15 a 25 dos vinte e seis setores da matriz insumo-produto).

O PIB total do Agronegócio é a soma dos seus agregados, ou seja:

$$PIB_{AGRO} = PIB_I + PIB_{II} + PIB_{III} + PIB_{IV} \quad (10)$$

Na Equação 10, tem-se:

PIB_{AGRO} é o Produto Interno Bruto do Agronegócio e os outros elementos da equação foram calculados e definidos anteriormente.

Para o cálculo da pegada hídrica, a Equação 2 seria modificada para se tornar o coeficiente da pegada hídrica, assim como na Equação 11, na qual o coeficiente de Valor adicionado a preços de mercado seria trocado pelo volume de água azul (W_o), verde (W_v) ou cinza (W_c) de pegada hídrica para cada setor:

$$CW_i = \frac{W_i}{X_i} \quad (11)$$

Na Equação 11, tem-se que:

CW_i é o coeficiente da pegada hídrica de cada setor,

W_i é a pegada hídrica do setor i , sendo $i = 1, 2, \dots, 26$ que pode ser água azul (W_o), verde (W_v) ou cinza (W_c),

X_i é a produção setorial,

A pegada hídrica estimada para o agronegócio é interna, isto é, refere-se à apropriação da água dentro do país e não leva em consideração a água de insumos importados ou produtos exportados.

4 Resultados e discussão

Os resultados do dimensionamento do agronegócio para o mundo (189 países) no ano de 2015 considerando duas variáveis, Produto Interno Bruto e Pegada Hídrica, foram agregados em tabelas para conhecer os valores totais e posteriormente utilizados para a elaboração de mapas. Os resultados detalhados para as vinte maiores economias do mundo foram resumidos em tabelas e gráficos para análise. Esses países representam a maior parte da renda mundial, mais de 80%, e são importantes na tomada de decisões em relação a políticas ambientais e desenvolvimento de novas tecnologias.

4.1 Produto Interno Bruto do Agronegócio dos países

Os resultados agregados para os 189 países e o restante do mundo mostraram que o PIB do agronegócio mundial, em 2015, era de aproximadamente 12 trilhões de dólares, cerca de 18% do PIB mundial. Os Agregados (III) Indústria e (IV) Serviços possuíam as maiores participações na geração da renda, ambos com cerca de 35%, sendo que 22% da renda permanecia com os produtores rurais (Agropecuária – agregado II) e 7% no agregado I (Insumos).

As Figuras 1 e 2 ilustram os resultados individualizados dos 189 países presentes na base de dados do EORA (2023). A Figura 1 ilustra os valores absolutos do Produto Interno Bruto do Agronegócio em bilhões de dólares no ano de 2015. A Figura 2 ilustra os resultados da participação do Agronegócio na renda (PIB) dos países em valores percentuais. Os resultados da Figura 1 mostraram que o maior Produto Interno Bruto do agronegócio em 2015 era o da China, com cerca de 2,5 trilhões de dólares, outros países com maiores valores que visualmente se destacam são: Estados Unidos (US\$ 1,4 trilhão), Índia (US\$ 0,67 trilhão), Japão (US\$ 0,51 trilhão) e Brasil (US\$ 0,43 trilhão). Os altos valores indicam a importância do agronegócio no mundo, considerando todos os agregados.

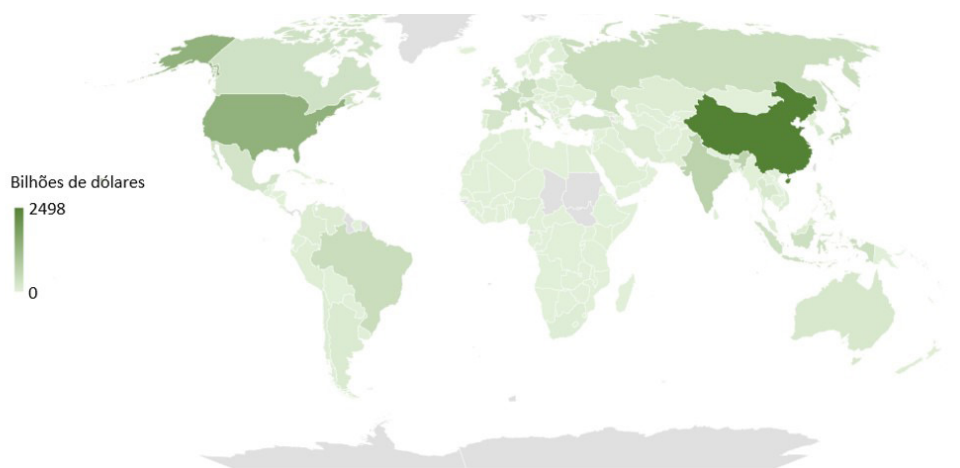


Figura 1. Produto Interno Bruto do Agronegócio dos países em 2015. Valores em bilhões de dólares.
Fonte: elaborado pelos autores com resultados da pesquisa

A Figura 2 mostra a importância do agronegócio entre os países analisados com variação da participação no Produto Interno Bruto entre 4% e 61%. Os maiores valores de participação do agronegócio no PIB do sistema produtivo foram obtidos para Quirguistão (61%), Paraguai

(61%), Uzbequistão (52%), Quênia 50%) e Etiópia (47%). O Brasil possuía 23% de participação do agronegócio na economia. Os países em desenvolvimento notadamente apresentaram maiores valores de participação do agronegócio na economia, principalmente na América Latina (como o Paraguai, com 61%) e na Ásia (como a Indonésia, com 40% e a Índia, com 38%). Por outro lado, países desenvolvidos como os Estados Unidos (10%), Canadá (16%) e Alemanha (11%) apresentaram valores de participação do agronegócio na economia que não ultrapassam 20%. Os resultados estão de acordo com a avaliação de Yan et al. (2011), Amarante & Sesso Filho (2020) e Sesso Filho et al. (2022), pois os autores afirmaram que o crescimento da renda per capita é acompanhado da diminuição da participação do agronegócio na economia (Produto Interno Bruto).

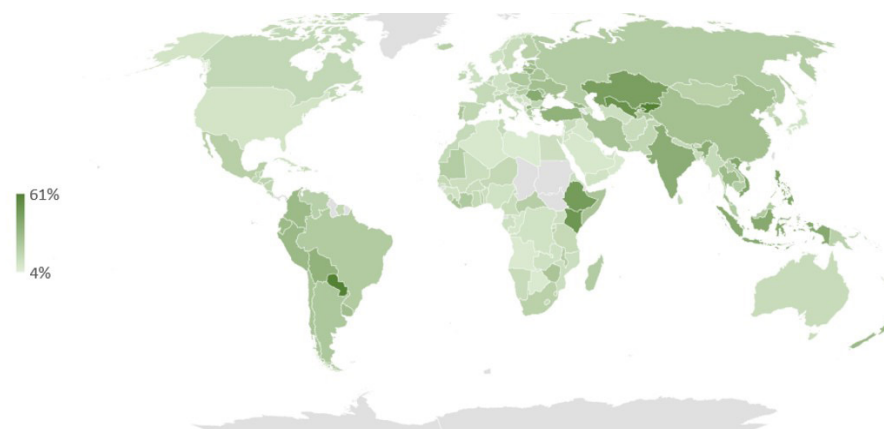


Figura 2. Participação do Agronegócio no Produto Interno Bruto dos países – em percentual – 2015.
Fonte: elaborado pelos autores com resultados da pesquisa

A Tabela 1 possui os resultados do dimensionamento do agronegócio para as vinte maiores economias do mundo considerando o Produto Interno Bruto do ano de 2015. É importante notar que os valores em dólares calculados levam em consideração a taxa de câmbio utilizada pelo Eora Global Supply Chain Database (EORA, 2023). Os dados da Tabela 1 foram utilizados para elaborar a Figura 3, que ilustra a participação dos agregados no PIB do agronegócio dos países. Observando a Tabela 1, nota-se que o maior valor do PIB do agronegócio era o da China, com cerca de 2,5 trilhões de dólares e participação de 28% na economia nacional, seguida pelos Estados Unidos, com 1,4 trilhão de dólares, que correspondia a 10% do total nacional, Índia (0,67 trilhão de dólares e 38% do total), Japão (0,5 trilhão de dólares e 10% do total) e Brasil (0,43 trilhão de dólares e 23% do total).

As vinte maiores economias mundiais apresentaram participação do agronegócio no PIB nacional variando entre 8% (Arábia Saudita) e 40% (Indonésia). A importância do agronegócio para cada país é variável, assim como a participação dos agregados na composição da renda. Pode-se notar que parte dos países mostrou participação conjunta da indústria e serviços (agregados III e IV) maior que 80%, como os Estados Unidos, Japão, Alemanha, França, Reino Unido, Itália, Canadá, México e Suíça. A China, maior PIB do agronegócio, mostrou uma participação da indústria e serviços de aproximadamente 60%. O Brasil, Rússia, Índia, Espanha, Austrália, Coreia do Sul, Indonésia, Holanda, Turquia e Arábia Saudita apresentaram resultado abaixo de 80% da agregação de valor por industrialização e adição de serviços.

Os países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China), Coreia do Sul, Austrália e Indonésia apresentam maior potencial para agroindustrialização, considerando a baixa participação na agregação de valor por este agregado e o fato de serem países emergentes com grande população e/ou exportadores de produtos básicos.

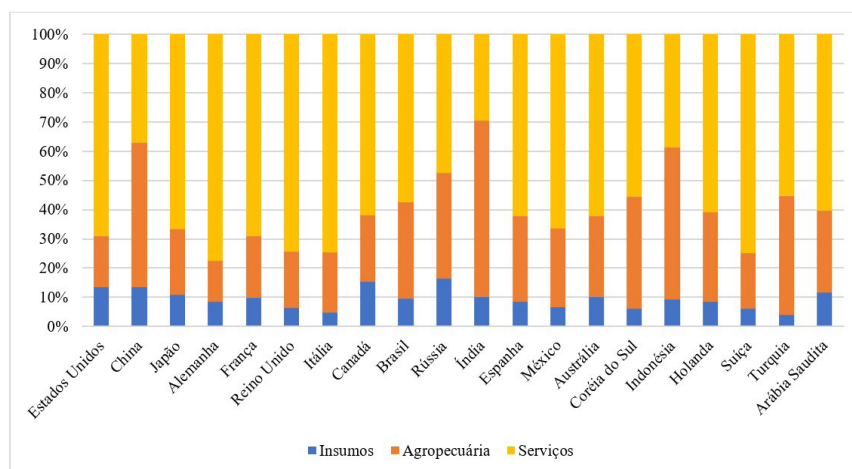


Figura 3. Participação dos agregados no Produto Interno Bruto do agronegócio das vinte maiores economias, em 2015.

Fonte: elaborado pelos autores com resultados da pesquisa.

Tabela 1. Produto Interno Bruto dos agregados do agronegócio e participação no total nacional das vinte maiores economias (Produto Interno Bruto), em 2015. (I) Insumos, (II) Agropecuária, (III) Indústria, (IV) Serviços. (US\$ bilhões)

País	Agronegócio				Total	Rank (Total)	Participação do agronegócio no PIB do país
	I	II	III	IV			
Estados Unidos	105,05	133,40	627,97	534,80	1401,22	2	10%
China	226,43	820,72	832,88	617,50	2497,53	1	28%
Japão	28,85	60,19	245,68	179,21	513,94	4	10%
Alemanha	20,16	33,74	160,79	185,63	400,32	6	11%
França	26,18	55,53	134,24	182,26	398,21	7	15%
Reino Unido	9,84	29,60	147,56	113,62	300,61	12	12%
Itália	11,86	50,14	151,56	182,97	396,52	8	19%
Canadá	25,40	37,76	142,04	102,81	308,01	11	16%
Brasil	28,36	97,76	133,77	169,46	429,34	5	23%
Rússia	45,65	101,36	116,13	133,05	396,20	9	22%
Índia	59,56	355,16	77,94	173,95	666,62	3	38%
Espanha	12,63	43,46	82,12	92,07	230,27	15	17%
México	10,72	43,46	102,77	107,25	264,20	13	21%
Austrália	11,93	32,52	60,79	72,87	178,11	17	14%
Coreia do Sul	8,04	51,08	65,58	74,04	198,75	16	19%
Indonésia	22,40	123,32	133,56	92,45	371,72	10	40%
Holanda	7,98	29,22	59,34	57,88	154,42	18	19%
Suíça	2,97	9,31	43,44	36,47	92,20	19	13%
Turquia	6,81	70,29	75,18	95,09	247,37	14	36%
Arábia Saudita	3,67	8,80	22,73	18,98	54,17	20	8%

Fonte: elaborado pelos autores com resultados da pesquisa.

4.2 Pegada hídrica do Agronegócio dos países

O somatório dos resultados da pegada hídrica do agronegócio dos 189 países e do restante do mundo no ano de 2015 era de cerca 151 trilhões de metros cúbicos, dos quais a contribuição de 83% era de água verde, 14% de água azul e 3% de água cinza. O agregado II (agropecuária)

era o principal demandante de água com 83,49% do total, seguido do agregado I (insumos), com 14,23%; agregado III (indústria), com 2,26%; e o agregado IV (serviços), com participação de 0,01%.

Os resultados da estimativa da pegada hídrica do agronegócio para os países foram utilizados para a elaboração das Figuras 4 e 5. A pegada hídrica estimada é interna e não leva em consideração a parte do agronegócio fora do país, como insumos importados e exportados. A Figura 4 apresenta a pegada hídrica total do agronegócio em bilhões de metros cúbicos anuais, em 2015 e a Figura 5 ilustra a participação da pegada hídrica do agronegócio na pegada hídrica total nacional do sistema produtivo dos países.

A Figura 4 indica que existe grande variação da pegada hídrica do agronegócio, o que depende das características de cada país, sendo que os maiores valores estão acima de um trilhão de metros cúbicos para os países com maior extensão tais como Estados Unidos, China, Rússia, Brasil e Índia. Considerando a importância do agronegócio para o fornecimento de alimentos e fibras para a própria população e para o atendimento da demanda externa, a disponibilidade de água é um ponto fundamental para a continuidade do funcionamento do agronegócio.

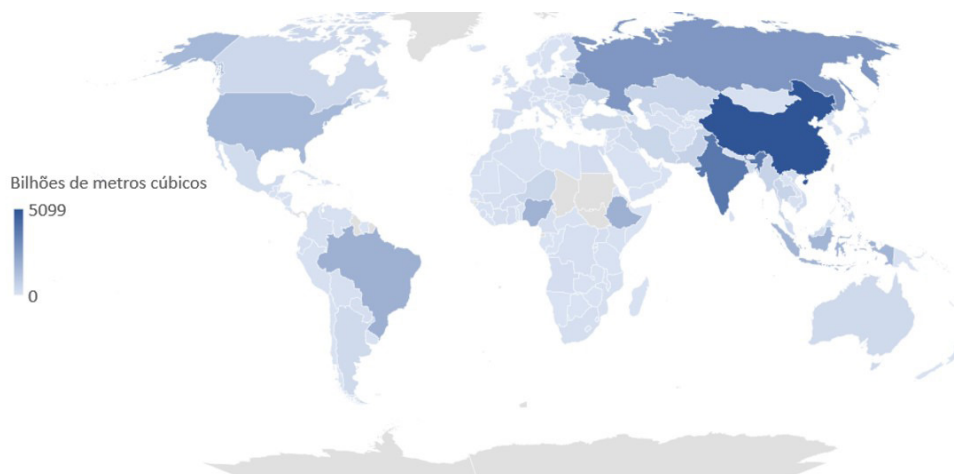


Figura 4. Pegada hídrica total (água azul, verde e cinza) do agronegócio dos países, em 2015. Valores em bilhões de metros cúbicos anuais.

Fonte: elaborado pelos autores com resultados da pesquisa.

A Figura 5 mostra que a participação da pegada hídrica do agronegócio na pegada hídrica total do sistema produtivo nos países varia entre 46% e aproximadamente 100% da água azul, verde e cinza disponíveis. Portanto, o agronegócio apresenta um alto impacto e depende do fornecimento contínuo de recursos hídricos para o seu funcionamento. A escassez crescente de água por consequência das mudanças climáticas pode limitar o desenvolvimento da atividade agropecuária com consequências como a falta de alimentos e o aumento de preços, principalmente com impactos sobre as populações mais pobres.

A Tabela 2 possui os resultados da pegada hídrica total (água azul, verde e cinza) do agronegócio, seus agregados e participação no total nacional do sistema produtivo das maiores economias mundiais (Produto Interno Bruto) no ano de 2015. Os valores referem-se a bilhões de metros cúbicos anuais. Observando os resultados da Tabela 2, nota-se que a participação da pegada hídrica do agronegócio no total do sistema produtivo nacional varia entre 74% (Japão) a aproximadamente 100% (Indonésia). Os valores absolutos variam entre 7 bilhões de metros cúbicos (Suíça) e mais de 5 trilhões de metros cúbicos (China), a grande variação dos números é explicada pelo fato de a pegada hídrica depender de diversos fatores, tais como a extensão territorial, o clima, o solo e os sistemas produtivos do agronegócio de cada país.

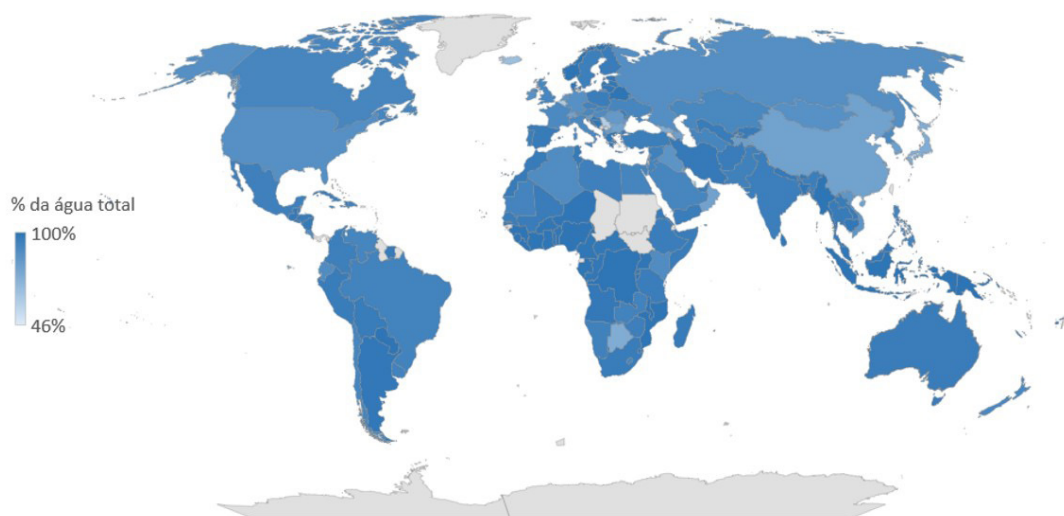


Figura 5. Participação da Pegada hídrica interna do agronegócio na pegada hídrica do sistema produtivo dos países, em 2015. Fonte: elaborado pelo autor com base nos resultados da pesquisa.

Os valores obtidos da pegada hídrica do agronegócio mostram que, entre os agregados, Agropecuária (agregado II) tem a maior participação na pegada hídrica total do agronegócio, posteriormente, tem-se a participação da Indústria (agregado III), Insumos (agregado I) e Serviços (agregado IV). Existem países com maior pegada hídrica dos Insumos, tais como os Estados Unidos e a China, e outros que a indústria apresenta maior valor, como o Reino Unido, a Itália e o Brasil. Além disso, em todos os casos das maiores economias mundiais, a pegada hídrica dos setores de Serviços (agregado IV) é a menor.

O maior valor da pegada hídrica do agronegócio foi o da China, com cerca de cinco trilhões de metros cúbicos, sendo mais de 80% na agropecuária (agregado II). O segundo maior valor obtido foi o da Índia, com aproximadamente 3,8 trilhões de metros cúbicos em 2015, seguido da Rússia (2,7 trilhões de m³), do Brasil (1,8 trilhão de m³), da Indonésia (1,6 trilhão de m³) e dos Estados Unidos (1,5 trilhão de m³).

Tabela 2. Pegada hídrica total interna (água azul, verde e cinza) dos agregados do agronegócio e participação na pegada hídrica do sistema produtivo das vinte maiores economias (Produto Interno Bruto), em 2015. Os agregados: (I) Insumos, (II) Agropecuária, (III) Indústria, (IV) Serviços. (bilhões m³).

País	Agronegócio					Rank (Total)	Participação do agronegócio na pegada hídrica do sistema produtivo
	I	II	III	IV	Total		
Estados Unidos	292,05	984,51	230,87	0,27	1507,70	6	87,51%
China	388,81	4349,41	344,90	16,27	5099,39	1	78,89%
Japão	2,03	19,21	1,79	0,04	23,07	18	73,96%
Alemanha	16,95	78,76	8,37	0,08	104,16	14	86,98%
França	25,36	127,44	10,73	0,39	163,92	12	90,25%
Reino Unido	1,23	40,02	5,35	0,01	46,60	15	91,59%
Itália	9,46	75,80	23,54	0,37	109,18	13	90,58%
Canadá	89,61	286,72	21,73	0,60	398,66	7	92,02%
Brasil	185,04	1116,88	490,22	0,63	1792,77	4	93,48%
Rússia	417,49	2056,17	233,43	9,67	2716,75	3	88,09%
Índia	345,95	3287,86	222,71	1,58	3858,11	2	95,34%
Espanha	11,17	119,42	55,16	0,05	185,81	11	96,84%

Fonte: elaborado pelos autores com base nos resultados da pesquisa.

Tabela 2. Continuação...

País	Agronegócio					Rank (Total)	Participação do agronegócio na pegada hídrica do sistema produtivo
	I	II	III	IV	Total		
México	17,52	171,63	54,67	0,16	243,99	10	94,47%
Austrália	34,00	201,91	75,68	0,01	311,60	9	96,42%
Coreia do Sul	1,43	26,22	4,72	0,02	32,40	17	79,66%
Indonésia	109,46	1368,31	127,01	0,04	1604,82	5	99,74%
Holanda	0,73	6,69	3,87	0,03	11,32	19	84,98%
Suíça	0,70	4,99	1,40	0,02	7,11	20	78,68%
Turquia	13,34	259,28	44,04	0,38	317,05	8	95,55%
Arábia Saudita	1,05	28,02	4,01	0,02	33,10	16	91,94%

Fonte: elaborado pelos autores com base nos resultados da pesquisa.

A Figura 6 ilustra a composição da pegada hídrica do agronegócio dos vinte países com maiores valores do Produto Interno Bruto em termos de água azul, verde e cinza. Pode-se notar que a maior participação era da água verde, com aproximadamente 70% ou mais em dezenove dos vinte países analisados, com exceção da Arábia Saudita, onde predominava a água azul (mais de 70%). Isso indica que a maior parte da pegada hídrica dos produtos do agronegócio, alimentos *in natura*, industrializados ou mesmo fibras (têxtil e vestuário), é decorrente do processo de evapotranspiração e do uso da água presente no solo. Os valores de participação da água azul e cinza são variáveis entre os países, sendo que a China, a Alemanha e o Reino Unido têm maior participação da pegada hídrica de água cinza, com aproximadamente 20% da pegada hídrica total do agronegócio. Por outro lado, o Brasil, a Rússia, a Austrália e a Indonésia utilizam relativamente menos as fontes das águas azul e cinza, que juntas apresentaram cerca de 10% ou menos de participação na pegada hídrica estimada para o agronegócio.

A análise conjunta dos resultados indica que países que apresentaram maior participação dos Serviços (agregado IV) na geração de renda do agronegócio mostraram também maior participação da pegada hídrica cinza, sendo que os Estados Unidos, a Alemanha, a França, o Reino Unido, a Holanda e a Suíça apresentaram essas características. Os setores industriais e de serviços normalmente apresentam maior participação da pegada hídrica cinza, portanto, o maior o grau de industrialização e adição de serviços aos produtos agropecuários levará à maior participação da pegada hídrica cinza.

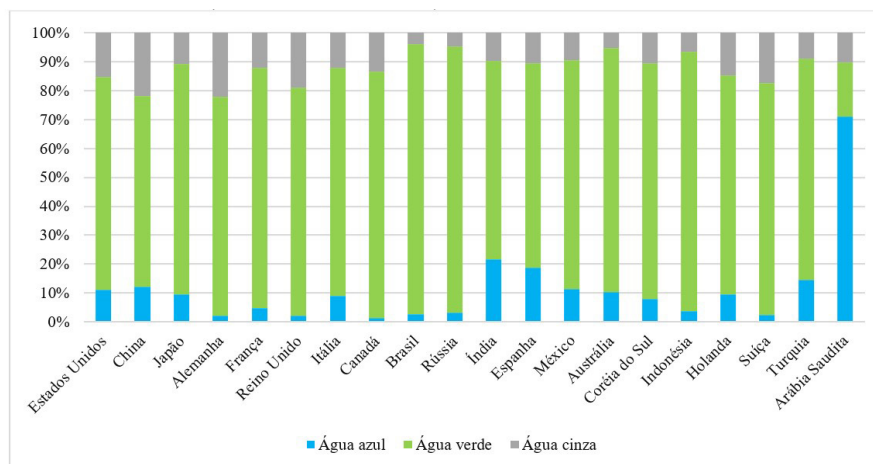


Figura 6. Participação dos tipos de água na pegada hídrica do agronegócio das vinte maiores economias (Produto Interno Bruto), em 2015.

Fonte: elaborado pelos autores com base nos resultados da pesquisa.

4.3 Eficiência no uso da água

Os valores estimados de pegada hídrica por unidade de renda para os países mostraram diferenças tão grandes que dificultam a elaboração de mapas e gráficos. Os maiores valores estão situados acima de cem mil metros cúbicos de água utilizada no processo produtivo para cada mil dólares de renda gerada ($m^3/US\$$) no ano de 2015 e foram obtidos para a Etiópia, Sudão e Zimbábue. Isso ocorre devido ao baixo valor adicionado dos produtos e a alta evaporação (pegada hídrica verde) característica da produção e do clima nesses países. Por outro lado, países como a Suíça e o Japão apresentaram valores abaixo de cem metros cúbicos de água utilizada para cada mil dólares de renda gerada, devido à eficiência do uso água e ao alto valor adicionado da produção.

A Tabela 3 apresenta os valores da relação entre a pegada de água do agronegócio, seus agregados e a renda (Produto Interno Bruto) de 2015, os valores estão em metros cúbicos por mil dólares. Os resultados mostram o custo ambiental em termos de pegada hídrica (metros cúbicos) para gerar uma unidade de renda (mil dólares) em cada agregado do agronegócio. Observando os valores totais, tem-se que os números variam entre aproximadamente 45 metros cúbicos por mil dólares de renda gerada (Japão) até cerca de 6.857 $m^3/US\$$ (Rússia).

Considerando o indicador de sustentabilidade calculado, os países mais eficientes na utilização do recurso hídrico são o Japão, a Holanda, a Suíça e a Coreia do Sul, que utilizam entre 45 e 163 metros cúbicos de água para cada mil dólares gerados de renda no agronegócio. Observando os valores estimados para os agregados, o agregado II (Agropecuária) é aquele com maior valor do indicador estimado, seguido do agregado I (Insumos) e por último, o agregado III (Indústria). Os Serviços (agregado IV) apresentam a menor utilização de água em metros cúbicos por mil dólares de geração de renda no agronegócio. Os maiores valores da pegada hídrica por unidade de renda gerada na produção agropecuária (Agregado II) foram obtidos para Rússia (20 mil m^3 por mil dólares), Brasil (11,4 mil $m^3/US\$$), Indonésia (11 mil $m^3/US\$$), Índia (9,3 mil $m^3/US\$$), Canadá (7,6 mil $m^3/US\$$) e Estados Unidos (7,4 mil $m^3/US\$$).

Tabela 3. Relação entre pegada hídrica e renda (Produto Interno Bruto) das vinte maiores economias, em 2015. Os agregados: (I) Insumos, (II) Agropecuária, (III) Indústria, (IV) Serviços. Valores em $m^3/US\$1.000$.

País	Agronegócio				Total	Rank (Total)
	I	II	III	IV		
Estados Unidos	2780,22	7379,92	367,64	0,51	1076,00	9
China	1717,09	5299,52	414,11	26,35	2041,77	5
Japão	70,24	319,07	7,30	0,24	44,89	20
Alemanha	841,02	2334,25	52,05	0,42	260,19	15
França	968,68	2294,94	79,92	2,13	411,64	13
Reino Unido	125,19	1351,97	36,23	0,05	155,01	17
Itália	798,17	1511,87	155,32	2,02	275,33	14
Canadá	3527,91	7593,86	152,95	5,86	1294,32	7
Brasil	6525,55	11425,04	3664,72	3,69	4175,59	4
Rússia	9145,68	20285,63	2010,00	72,70	6857,11	1
Índia	5808,00	9257,39	2857,56	9,11	5787,60	2
Espanha	884,40	2748,00	671,79	0,58	806,91	11
México	1634,96	3949,41	531,96	1,51	923,50	10
Austrália	2849,84	6209,47	1244,92	0,12	1749,46	6
Coreia do Sul	178,54	513,30	71,98	0,27	163,01	16
Indonésia	4887,17	11095,80	950,95	0,41	4317,24	3
Holanda	91,15	228,94	65,28	0,57	73,33	19
Suíça	235,91	536,00	32,18	0,51	77,12	18
Turquia	1960,38	3688,55	585,77	4,04	1281,69	8
Arábia Saudita	285,10	3186,24	176,22	1,27	611,03	12

Fonte: elaborado pelos autores com base nos resultados da pesquisa.

A grande diferença dos valores estimados do indicador de sustentabilidade nas maiores economias mundiais e da pegada hídrica por unidade de renda indica que existe a possibilidade de aumentar a eficiência no uso da água, principalmente na produção de insumos e no campo, a exemplo do Japão, Holanda e Suíça. Isso constitui uma oportunidade para o desenvolvimento de políticas públicas para o desenvolvimento de novas tecnologias poupadoras desse recurso, especialmente na Rússia, Índia, Indonésia, Brasil, China, Austrália, Turquia, Canadá e Estados Unidos, países que apresentaram valores acima de mil metros cúbicos por mil dólares de Produto Interno Bruto do agronegócio. Novas variedades de plantas mais eficientes no uso da água, resistentes à seca e processos produtivos na agropecuária que diminuam o uso da água azul, sejam menos poluentes (menor pegada cinza) e diminuam a evaporação da água do solo (água verde).

No caso da produção agropecuária, as soluções possíveis para o aumento da eficiência do uso da água e diminuição da pegada hídrica são o desenvolvimento de variedades resistentes à seca (melhor utilização da água do solo - verde), sistemas de irrigação mais eficientes (menor uso da água azul) e sistemas de produção que diminuam a evaporação da água do solo (menor pegada hídrica verde). Portanto, a implementação de políticas públicas de incentivo às pesquisas para o melhoramento genético de plantas e desenvolvimento de novas tecnologias no campo que utilizam relativamente menos água podem contribuir para a eficiência no uso da água e mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Do ponto de vista da demanda por produtos agropecuários (*in natura* ou industrializados), mudanças na dieta humana podem contribuir para diminuir a pegada hídrica do agronegócio.

Nos setores industriais e de serviços, existem estratégias eficientes para reduzir o consumo de água como: o treinamento dos trabalhadores sobre práticas de consumo de água e a conscientização da importância de evitar o desperdício; o monitoramento e manutenção do processo produtivo para identificar situações com maior consumo e adotar medidas corretivas; o desenvolvimento de sistemas de reciclagem de água, como a instalação de estações de tratamento para reutilização em processos secundários ou sistemas de aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis. Além disso, o investimento em equipamentos modernos e eficientes, como sistemas de condução a seco, torneiras automáticas com sensores de movimento e bacias sanitárias de baixo consumo (Mierzwa & Hespanhol, 2005; Rocha et al., 2018). A elaboração de políticas de isenção de impostos para empresas que aumentam a sustentabilidade do processo produtivo e incentivos para o desenvolvimento de tecnologias de produção que utilizam menor quantidade de água contribuirão para a menor pegada hídrica por unidade de produção (ou renda).

Os resultados mostraram que o custo ambiental da adição de valor para os agregados do agronegócio é maior nas etapas iniciais, Insumos (Agregado I) e Produção agropecuária (Agregado II), seguidos da indústria e serviços. Os setores de serviços demandam relativamente menos água por unidade de renda gerada que os outros agregados. Além disso, existe grande amplitude do indicador de sustentabilidade do uso da água entre países. Portanto, existe a possibilidade de que os países que apresentam restrição na oferta de água utilizem o comércio internacional estrategicamente para poupar o recurso escasso importando a matéria prima (produtos agropecuários *in natura*) e processando em território nacional, o que permite a geração de renda com menor custo ambiental em termos de pegada hídrica. No entanto, como foi verificado na revisão de literatura, o uso do comércio internacional para aumentar a eficiência no uso da água pode transferir o problema e causar a escassez do recurso nos países mais pobres exportadores de *commodities*.

5 Conclusões

A adaptação da metodologia de dimensionamento do agronegócio baseada na matriz insumo-produto para ser aplicada para variáveis econômicas e ambientais e bases de dados para muitos

países é uma das contribuições da presente pesquisa. Os resultados do indicador de eficiência do uso da água, mensurada como a relação de pegada hídrica por unidade de renda, mostraram que existe grande variação no nível de sustentabilidade do agronegócio entre países. Isso indica que há possibilidade do uso de novas tecnologias para maior eficiência no uso da água, especialmente nos agregados I (Insumos) e II (Agropecuária), principais demandantes desse recurso natural.

Os resultados da pesquisa podem nortear políticas para aumentar a eficiência do uso da água e a sustentabilidade com investimentos em pesquisa e desenvolvimento de produtos e processos que poupam esse recurso natural. Na agropecuária, variedades resistentes à seca e sistemas produtivos que diminuam a pegada hídrica azul e protejam o solo para diminuir a evapotranspiração (água verde) contribuirão para uma maior sustentabilidade. Nos setores industriais e de serviços, processos produtivos com menor uso da água azul e menos poluentes (água cinza) terão impacto nos agregados de insumos, indústria e serviços.

Novas pesquisas podem envolver o dimensionamento do agronegócio dos países para períodos mais recentes e variáveis econômicas, ambientais e sociais. A análise conjunta das pegadas de carbono, hídrica e social é importante porque a sustentabilidade envolve diversos aspectos do processo produtivo e seus impactos sobre a sociedade.

Referências

- Aldaya, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). The water needed for Italians to eat pasta and pizza. *Agricultural Systems*, 103(6), 351-360. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.03.004>
- Amarante, R. L., & Sesso Filho, U. A. (2020). Estimativa do Produto Interno Bruto do agronegócio e sua relação com renda per capita em 190 países. *Revista Unicesumar*, 22(1), 79-91. <http://doi.org/10.17765/1518-1243.2020v22n1p79-91>
- Bajan, B., & Mrówczyńska-Kamińska, A. (2020). Carbon footprint and environmental performance of agribusiness production in selected countries around the world. *Journal of Cleaner Production*, 276, 1-10. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123389>
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., Nava, L. F., Wada, Y., Eisner, S., Flörke, M., Hanasaki, N., Magnuszewski, P., Cosgrove, B., & Wiberg, D. (2016). *Water futures and solution-fast track initiative (final report)*. Laxenburg, Austria: IIASA. Recuperado em 16 de dezembro de 2023, de <https://core.ac.uk/download/pdf/33972065.pdf>
- Cassman, K. G., & Grassini, P. (2020). A global perspective on sustainable intensification research. *Nature Sustainability*, 3(4), 262-268. <http://doi.org/10.1038/s41893-020-0507-8>
- Chapagain, A. K., Hoekstra, A. Y., & Savenije, H. H. G. (2006). Water saving through international trade of agricultural products. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3), 455-468. <http://doi.org/10.5194/hess-10-455-2006>
- Davis, J. H., & Goldberg, R. A. (1957). A concept of agribusiness. *Journal of Farm Economics*, 39(4), 1042-1045.
- Drechsel, P., Heffer, P., Magen, H., Mikkelsen, R., & Wichelns, D. (2015). *Managing water and fertilizer for sustainable agricultural intensification*. Paris: International Fertilizer Industry Association, International Water Management Institute, International Plant Nutrition Institute, International Potash Institute. Recuperado em 10 de janeiro de 2023, de https://ageconsearch.umn.edu/record/208412/files/managing_water_and_fertilizer_for_sustainable_agricultural_intensification.pdf
- EORA. (2023). *EORA global supply chain database*. Recuperado em 10 de janeiro de 2023, de <https://worldmrio.com/>
- Falkenmark, M., & Rockström, J. (2004). *Balancing water for humans and nature: the new approach in ecohydrology*. London: Earthscan.

- Foley, J. A., Ramankutty, N., Brauman, K. A., Cassidy, E. S., Gerber, J. S., Johnston, M., Mueller, N. D., O'Connell, C., Ray, D. K., West, P. C., Balzer, C., Bennett, E. M., Carpenter, S. R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Tilman, D., & Zaks, D. P. M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, *478*(7369), 337-342. <http://doi.org/10.1038/nature10452>
- Furtuoso, M. C. O., & Guilhoto, J. J. M. (2003). Estimativa e mensuração do produto interno bruto do agronegócio da economia brasileira 1994 a 2000. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, *43*(4), 803-827. <http://doi.org/10.1590/S0103-20032003000400005>
- Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., Burlingame, B., Dawkins, M., Dolan, L., Fraser, D., Herrero, M., Hoffmann, I., Smith, P., Thornton, P. K., Toulmin, C., Vermeulen, S. J., & Godfray, H. C. J. (2013). Sustainable intensification in agriculture: Premises and policies. *Science*, *341*(6141), 33-34. <http://doi.org/10.1126/science.1234485>
- Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, *327*(5967), 812-818. <http://doi.org/10.1126/science.1185383>
- Hoekstra, A. Y. (2008). *Water neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints* (Value of Water Research Report Series, No. 28). Delft, Netherlands: UNESCO-IHE. Recuperado em 10 de janeiro de 2023, de www.waterfootprint.org/Reports/Report28-WaterNeutral.pdf
- Hoekstra, A. Y., & Chapagain, A. K. (2008). *Globalization of water: sharing the planet's freshwater resources*. Oxford: Blackwell Publishing.
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2002). *Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade* (Value of Water Research Report Series, No. 11, 120 p.). Delft, Netherlands: UNESCO-IHE.
- Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *2012*(109), 3232-3237. <http://doi.org/10.1073/pnas.1109936109>
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aladaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2009). *The water footprint manual: state of the art* (1st ed., , 127 p.). Enschede: Water Footprint Network.
- Jalava, M., Guillaume, J. H., Kummu, M., Porkka, M., Siebert, S., & Varis, O. (2016). Diet change and food loss reduction: What is their combined impact on global water use and scarcity? *Earth's Future*, *4*(3), 62-78. <http://doi.org/10.1002/2015EF000327>
- Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., & Ward, P. J. (2012). Lost food, wasted resources: global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use. *The Science of the Total Environment*, *438*, 477-489. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.092>
- Lenzen, M., Kanemoto, K., Moran, D., & Geschke, A. (2012). Mapping the structure of the world economy. *Environmental Science & Technology*, *46*(15), 8374-8381.
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., & Geschke, A. (2013). Building Eora: a global multi-region input-output database at high country and sector resolution. *Economic Systems Research*, *25*(1), 20-49.
- Leontief, W. (1951). *The structure of the American economy* (2nd ed.). New York: Oxford University Press.
- Lovarelli, D., Bacenetti, J., & Fiala, M. (2016). Water footprint of crop productions: a review. *The Science of the Total Environment*, *548-549*, 236-251. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.022>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences*, *15*(5), 1577-1600. <http://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>

- Mekonnen, M. M., & Gerbens-Leenes, W. (2020). The water footprint of global food production. *Water*, 12(10), 2696. <http://doi.org/10.3390/w12102696>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). *Mitigating the water footprint of export cut flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya* (Value of Water Research Report Series, No. 45). Delft, Netherlands: UNESCO-IHE. Recuperado em 12 de novembro de 2023, de www.waterfootprint.org/Reports/Report45-WaterFootprint-Flowers-Kenya.pdf
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2012). A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, 15(3), 401-415. <http://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2020). Blue water footprint linked to national consumption and international trade is unsustainable. *Nature Food*, 1(12), 792-800. <http://doi.org/10.1038/s43016-020-00198-1>
- Mierzwa, J. C., & Hespanhol, I. (2005). *Água na indústria: uso racional e reúso*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Miller, R. E., & Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions* (750 p.). Cambridge: Cambridge University Press.. <http://doi.org/10.1017/CBO9780511626982>.
- Pompermayer Sesso, P. P., Mendes, F. H., Sesso Filho, U. A., & Zapparoli, I. D. (2023). Agronegócio de países selecionados: análise de sustentabilidade entre o PIB e emissões de CO2. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 61(2), e258543. <http://doi.org/10.1590/1806-9479.2022.258543>
- Rocha, C. M., Bassanelli, F., Fernandes, L., & Espíndola, L. (2018). Crise hídrica: estratégias utilizadas em indústrias no Vale do Paraíba como forma de economia na utilização da água. *Revista Científica on-line - Tecnologia, Gestão e Humanismo*, 8(1), 2-11.
- Sesso Filho, U. A., Borges, L. T., Pompermayer Sesso, P., Brene, P. R. A., & Esteves, E. G. Z. (2022). Mensuração do complexo agroindustrial no mundo: comparativo entre países. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 60(1), e235345. <http://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.235345>
- Sesso Filho, U. A., Trindade Borges, L., Pompermayer Sesso, P., Alves Brene, P. R., & Domenes Zapparoli, I. (2019). Geração de renda, emprego e emissões atmosféricas no agronegócio: um estudo para quarenta países. *Revista de Economia e Agronegócio*, 17(1), 30-55. <http://doi.org/10.25070/rea.v17i1.7902>
- Tamea, S., Tuninetti, M., Soligno, I., & Laio, F. (2021). Virtual water trade and water footprint of agricultural goods: the 1961–2016 CWASI database. *Earth System Science Data*, 13(5), 2025-2051. <http://doi.org/10.5194/essd-13-2025-2021>
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(50), 20260-20264. <http://doi.org/10.1073/pnas.1116437108>
- Yan, B., Fan, J., & Zhou, Y. (2011). *Study on the relationship between economic growth and structural change of agribusiness: evidences from national and provincial levels*. Laxenburg, Austria: IIASA. Recuperado em 9 de janeiro de 2023, de https://www.iioa.org/conferences/19th/papers/files/442_20110407041_StudyontheRelationshipbetweenEconomicGrowthandStructuralChangeofAgribusiness.doc
- Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K. C., & Zehnder, A. J. B. (2006). Virtual water trade: an assessment of water use efficiency in the international food trade. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3), 443-454. <http://doi.org/10.5194/hess-10-443-2006>

Recebido: Abril 25, 2023

Aceito: Fevereiro 25, 2024

JEL Classification: Q25, C67, O13.