



UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS,
ADMINISTRATIVAS E CONTÁBEIS
CENTRO DE PESQUISA E EXTENSÃO DA FEAC
(www.upf.br/cepeac)

Texto para discussão

Texto para discussão Nº 01/2021

**MUDANÇA TECNOLÓGICA NO CONSUMO DE “ÁGUA VIRTUAL” E A
PEGADA HÍDRICA NA ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE INSUMO-
PRODUTO ECOLÓGICO**

Marco Antonio Montoya
Edson Talamini

MUDANÇA TECNOLÓGICA NO CONSUMO DE “ÁGUA VIRTUAL” E A PEGADA HÍDRICA NA ECONOMIA BRASILEIRA: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO ECOLÓGICO

Marco Antonio Montoya¹

Edson Talamini²

Resumo

O artigo avalia, com base na construção de um modelo insumo-produto ecológico, o consumo de água, os requerimentos setoriais de “água virtual” e a pegada hídrica na economia brasileira nos anos de 2010 e 2015. Verificou-se que a agricultura concentra 53,3% do consumo de água do país e apresenta ganhos de eficiência tecnológica que permitiram incorporar menos “água virtual” por unidade produzida. Embora os serviços de saneamento básico não atendem a toda a população, observou-se no setor os maiores ganhos de eficiência tecnológica do país. Na pegada hídrica nacional, o consumo per-capita de “água virtual” diminuiu, de 117,14 m³/ano para 107,66 m³/ano, e a intensidade litros de “água virtual” por cada real gerado reduziu, de 4,64 litros/R\$ para 4,27 litros/R\$, indicando, portanto, em média, ganhos de eficiência tecnológica nos processos produtivos do Brasil.

Palavras-chave: insumo-produto ecológico; pegada hídrica; produção setorial; meio ambiente.

Abstract

The article assesses, based on the construction of an ecological input-product model, water consumption, sectoral requirements for “virtual water” and the water footprint in the Brazilian economy in the years 2010 and 2015. It was found that agriculture concentrates 53.3% of the country's water consumption and presents technological efficiency gains that allowed to incorporate less “virtual water” per unit produced. Although basic sanitation services do not serve the entire population, the largest technological efficiency gains in the country have been observed in the sector. In the national water footprint, the per-capita consumption of “virtual water” decreased, from 117.14 m³/year to 107.66 m³/year, and the liters intensity of “virtual water” for each real generated decreased from 4.64 liters/R\$ to 4.27 liters/R\$, thus indicating, on average, gains in technological efficiency in Brazil's production processes.

Keywords: ecological input-product; water footprint; sectoral production; environment.

JEL:C67, Q25, E23, Q50

1 Introdução

Considerando a série de vazões de água dos últimos 70 anos, a Agência Nacional de Águas (2019), afirma que a evolução histórica dos usos da água está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país, que permanentemente demanda ao meio ambiente por maiores volumes de recursos hídricos. Salienta no período recente, que na década de 2010 houve nas vazões uma leve redução do crescimento dos usos de água, fato relacionado à crise hídrica verificada em diversas regiões do país, assim como à desaceleração do crescimento econômico brasileiro.

Embora se saiba que a água é um elemento vital para a humanidade e um insumo indispensável para a produção de alimento *in natura* e processados, geração de energia elétrica, local para descarte e diluição de afluentes domésticos e industriais, dentre outros, para entender seus usos é necessário distinguir a diferença entre o uso e o consumo da água no sistema econômico. Enquanto o **uso total da água** considera toda a água retirada

¹ Doutor em Economia Aplicada. Professor Titular da Universidade de Passo Fundo (UPF). E-mail: montoya@upf.br, <https://orcid.org/0000-0003-1566-7417>. Universidade de Passo Fundo, Faculdade de Ciência Econômicas Administrativas e Contábeis (UPF/FEAC), Campus I. BR 285, Km 292,7, Bairro São José, Passo Fundo, RS, CEP 99052-900, Brasil.

² Doutor em Agronegócios. Professor Associado do Departamento de Economia e Relações Internacionais – DERI, da Faculdade de Ciências Econômicas – FCE da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Professor do Programa de Pós-Graduação em Agronegócios – CEPAN/UFRGS. E-mail: edson.talamini@ufrgs.br, <https://orcid.org/0000-0003-2349-0447>. Av. João Pessoa, 31 – Porto Alegre, RS – CEP: 90040-030.

do meio ambiente e das atividades econômicas para ser utilizada pelos setores produtivos e pelas famílias, **o consumo total de água** está composto pela parcela da água retirada para uso que não retorna ao ambiente, pois, durante o uso, foi incorporada nos produtos e consumida pelas famílias (ANA, 2018).

Nesse panorama, embora o aumento do consumo de água esteja relacionado ao crescimento da atividade econômica e populacional, pouco se sabe sobre as interações insumo-produto que existem entre o consumo de água e a trajetória do crescimento econômico no Brasil. Até porque a água consumida nas atividades produtivas é incorporada nos bens e serviços produzidos, passando despercebida pela população por ser “invisível”; ou seja, ignoram-se as enormes quantidades de água embutidas nos processos de produção de carros, combustíveis, eletrodomésticos, roupas, material de limpeza, produtos alimentícios, etc. consumidos no país. Por essa razão a água consumida também é conhecida como “água virtual”.

A esse respeito, como uma medida de apropriação humana dos recursos naturais, Hoekstra e Hung (2002), no sistema econômico nacional, e Allan (1998), no comércio internacional, introduzem o conceito de pegada hídrica como um indicador do volume total de “água virtual” incorporada ou consumida no processo de produção de bens e serviços finais de um país. Todavia, a pegada hídrica total está composta pela somatória da pegada hídrica verde, que representa a água da chuva incorporada nos produtos durante o processo de produção, da pegada hídrica azul, constituída pelas águas superficiais (rios, córregos, reservatórios artificiais, lagos e geleiras) e subterrâneas (aquíferos), que são incorporadas no processo de produção de um bem, e da pegada hídrica cinza como sendo a água que se tornou poluída durante o processo produtivo, sendo definida como a quantidade de água necessária para diluir a carga de poluentes a níveis aceitáveis.

No modelo insumo-produto, rapidamente foi incorporada esta nova categoria de análise para avaliar no processo circular da economia a interação entre os recursos hídricos com as atividades produtivas, ou seja, o consumo de “água virtual” e a pegada hídrica nacional. Nesta linha de análise, na literatura internacional Dietzenbacher e Velazquez (2007), Zhao, Chen e Yang (2009), Zhang, Yang e Shi (2011), Zhi, Yang e Yin (2014), dentre outros, utilizam modelos insumo-produto ecológicos para avaliar as contribuições dos recursos hídricos no sistema econômico, bem como o comércio regional de água virtual no mercado nacional e internacional. Já na economia brasileira, Picoli (2016), Ussami e Guilhoto (2018), Visentin e Guilhoto (2019), Montoya e Finamore (2019), Montoya (2020), também utilizam o modelo insumo-produto ecológico para avaliar a intensidade setorial, regional e nacional dos fluxos de água, o uso e consumo de água no agronegócio, a pegada hídrica nacional e a balança comercial de água virtual. Contudo, as pesquisas no Brasil, pela falta de dados, objetivam estudos para o corte temporal de um ano, negligenciando, portanto, a evolução do consumo de água frente ao crescimento das atividades econômicas em períodos recentes.

A vantagem de analisar o consumo de água no tempo, comparando períodos distintos, é que permite, por exemplo, avaliar os usos consuntivos da água entre as atividades econômicas, bem como mensurar os ganhos ou perdas de eficiência tecnológica nos processos produtivos. Isto é, revelar através das mudanças dos coeficientes técnicos de produção, quais processos produtivos, ao longo do tempo, são

mais intensivos no consumo de água e quais são mais eficientes, de modo a identificar nas atividades econômicas, a racionalidade que existe na quantidade de “água virtual” incorporada nos bens e serviços finais do país.

Deve-se considerar também que existe escassez de água no mundo, e segundo estimativas das Nações Unidas (ONU) até 2025, cerca de dois terços da população mundial sofrerão com a falta de água. Assim, as boas práticas nos processos produtivos que otimizem o consumo dos recursos hídricos tornam-se urgentes. A esse respeito, segundo Montoya (2020), o Brasil tem um papel relevante no fornecimento de recursos hídricos para o mundo já que, além de ser um grande produtor de alimentos para o mercado internacional, a “água virtual” incorporada em suas exportações equivale anualmente a quase cinquenta por cento de toda a água consumida no país. Assim sendo, existe a necessidade estratégica de conciliar, o crescimento econômico e o consumo de água com a conservação dos recursos hídricos e a preservação do meio ambiente.

Num contexto em que, historicamente, os usos da água estão diretamente relacionados com o crescimento econômico e urbano; considerando que a economia brasileira passou por uma profunda recessão econômica na década de 2010; e, existe escassez de água no mundo, questiona-se: quais são as interações relevantes que existem entre o consumo de água e o crescimento da economia do país? Com fins de indagar, a evolução das relações insumo-produto entre o consumo de água e as atividades produtivas, este artigo tem como objetivo, mensurar, na trajetória do crescimento econômico do Brasil dos anos de 2010 a 2015, o consumo de água, as mudanças tecnológicas nos requerimentos setoriais de “água virtual” e a pegada hídrica nacional. Para isso, inicialmente, se estima o consumo setorial de água do ano de 2010 compatível com os dados da ANA (2018) de 2013, 2014 e 2015, para logo, construir dois modelos insumo-produto ecológicos que, respectivamente, incorporam o consumo setorial de água para os anos de 2010 e 2015. Espera-se, com esta pesquisa, em um primeiro momento, compreender melhor a influência do crescimento das atividades econômicas sobre o consumo de água, mensurar a evolução das quantidades de “água virtual” incorporada nos produtos e serviços do país, bem como gerar indicadores para um melhor planejamento dos recursos hídricos nos próximos anos.

Após esta introdução, o presente artigo está dividido da seguinte maneira: na Seção 2, inicialmente, apresenta-se os procedimentos metodológicos utilizados para estimar a Tabela de recursos e usos físicos da água de 2010, bem como o processo de compatibilização e desagregação setorial implementado. Em seguida, é descrita a estrutura matemática do método de mensuração da “água virtual”, da pegada hídrica e a base de dados utilizada na pesquisa; na Seção 3, avalia-se a evolução do consumo setorial de água e a mudança tecnológica no consumo de “água virtual” ocorrida na produção de cada setor na trajetória do crescimento econômico do Brasil; na Seção 4, investiga-se, as características da pegada hídrica setorial e a composição de “água virtual” interna (nacional) e externa (importada) na evolução da pegada hídrica nacional de 2010 a 2015; na última seção, são apresentadas as principais conclusões obtidas no decorrer da análise.

2 Metodologia

A seguir são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para estimar a Tabela de Recursos e Usos Física da Água (TRU) de 2010, bem como o processo de compatibilização e desagregação setorial implementado para 2010 e 2015 com base nos fluxos das Matrizes Insumo-Produto (MIP) do país. Em seguida, descreve-se a metodologia utilizada para calcular os requerimentos setoriais de “água virtual” e a Pegada Hídrica Nacional.

2.1 Estimativa da Tabela de Recursos e Usos Físicos da Água

Desde que Leontief (1951) apresentou o modelo insumo-produto, ficou evidente que as limitações de dados sobre os fluxos intersetoriais e o custo de sua obtenção seriam sérios obstáculos a serem enfrentados. Não surpreende, portanto, o interesse quase que espontâneo presente na literatura em desenvolver métodos que se utilizam de informações não provenientes de um processo censitário para estimar e facilitar o uso de matrizes insumo-produto. Assim, de acordo com a natureza dos dados utilizados e suas respectivas técnicas de estimar coeficientes intersetoriais, os métodos são classificados em dois grupos: *métodos com informações censitárias* e *métodos com informações censitárias limitada*. Este último agrupa, os métodos denominados na literatura como *sem informação censitária* e *com informação semicensitária* (MONTROYA, 1999).

A esse respeito, segundo Roundt (1983), os termos *sem informação censitária* e *com informação censitária* sugerem a existência de dois grupos bem definidos e mutuamente excludentes; na prática, porém, se pode afirmar que todas as matrizes insumo-produto são matrizes híbridas construídas por meio de técnicas *com informação semicensitária*, que empregam dados primários e secundários em uma extensão maior ou menor. Dessa maneira, pode haver é possível que haja poucas matrizes insumo-produto, ou nenhuma, que não tenham sido confiadas a um certo uso de indicadores ou a algumas técnicas que tornem os dados mais sensíveis.

Nesse sentido, Hoekstra et al. (2011) afirmam que frente a falta de dados hídricos o desafio é estimar com informações de referência indicadores cujos resultados devem ser cuidadosamente interpretados. Assim, para estimar a Tabela de Recursos e Usos Físicos da Água (TRU) para o ano de 2010, foram usados os dados do Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil que apresenta a série de vazões de 1931 a 2030, com projeções de 2018 a 2030, em metros cúbicos por segundo (m^3/s) (ANA, 2019) e as Tabelas de Recursos e Usos da Água das Contas Econômicas Ambientais da Água – CEAA de 2013 a 2015, em hectômetros cúbicos ao ano (hm^3/ano) (ANA, 2018).

Os dados da Agência Nacional de Águas (ANA) descrevem a interação dos recursos hídricos com as atividades econômicas. Desse modo, as Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA), consideram o uso total da água, à água que retorna ao meio ambiente após ser usada e o consumo total de água incorporada nos produtos no fluxo circular do sistema econômico.

Considerando a série de vazões de água de 1931 a 2017, segundo a ANA (2019, p.11-14), a evolução histórica dos usos da água está diretamente relacionada ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do País. Em particular, os usos da água do ano de 2010 localizam-se na trajetória de crescimento dos anos de 2013 a 2015, ou seja, as atividades produtivas no curto período de três anos, de 2010 e 2013, não

apresentam mudanças significativas. Nesse sentido, as tendências dos usos consuntivos da água no país, bem como o uso e consumo total de água das TRU de 2013 a 2015, também apresentam simultaneamente a mesma direção e em termos agregados pequenas variações ano a ano. Concomitantemente, quando se observa os usos da água em nível das atividades econômicas tal como expresso nas TRU de 2013 a 2015, verifica-se que as trajetórias de crescimento de setor para setor são diferentes. Por exemplo, o crescimento do uso de água no setor eletricidade e gás foi menor do que o crescimento do consumo de água no setor agropecuário, o que indica a necessidade de usar parâmetros diferentes para estimar os usos da água para cada setor.

Com base nessas evidências, considerando que os usos de água do ano de 2010 localizasse na trajetória de crescimento dos usos e recursos de água dos anos de 2013 a 2015, inicialmente, para estimar a TRU de 2010, foi construída uma matriz de coeficientes de variação média anual de 2013 a 2015 que leva em conta as particularidades de cada setor no fluxo circular do sistema econômico. Em seguida, a média anual dessas variações multiplicada por três anos foi retirada da TRU do ano de 2013, obtendo-se o uso e consumo setorial de água para o ano 2010. Para estabelecer a consistência dos dados, os fluxos de usos e recursos foram balanceados de modo a obter uma TRU de 2010 consistente, conforme consta no Anexo 1.

2.2 A desagregação das Contas Econômicas Ambientais da Água

No Brasil, embora as CEAA e as MIP apresentem setores compatíveis com a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) 2.0 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o nível de agregação é diferente. Enquanto as CEAA apresentam uma TRU da água composta por sete fluxos hídricos e seis setores ou atividades econômicas em unidades físicas, a TRU da MIP apresenta 127 produtos e 67 setores consumidores em unidades monetárias. Em decorrência disso, a compatibilização das informações gera apenas seis setores e/ou atividades – um reduzido número de setores e/ou atividades consumidoras, o que afeta e limita os resultados e as análises do sistema. Assim, para superar essa limitação e mensurar a contribuição da água para os processos produtivos, torna-se necessário desagregar os setores da TRU água tomando como referência os dados das MIP.

Para tal procedimento, utilizou-se a metodologia desenvolvida por Montoya e Finamore (2020) que tem como referência o método proposto por Montoya, Lopes e Guilhoto (2014) para compatibilizar e desagregar matrizes físicas com base nos fluxos intersetoriais da TRU da MIP do país.

O método para estabelecer o fator de expansão compõe-se de duas etapas. A primeira etapa consistiu em compatibilizar a TRU água com as MIP. Como resultado, pelo lado setorial da matriz hídrica, obteve-se uma desagregação de seis grandes setores que usam e consomem água com seus respectivos subsetores, perfazendo um total de 67 setores, tal qual a estrutura das MIP do país. Por outro lado, foi possível identificar os setores intensivos no uso de água e no consumo de água, ou seja, em que setores os fluxos hídricos mais relevantes estão contidos. Assim, nessa etapa, verificou-se nas TRU de 2010 e 2015 que, os setores de energia elétrica concentram 96,6% e 97,0% do uso total da água das atividades econômicas do país, e o setor da agropecuária (71,5% e 77,6%) e

o setor Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos (9,1% e 7,4%) em conjunto, 80,6% e 85,0% do consumo total de água, respectivamente (Anexo 1 e 2). Certamente, os fluxos desses setores representam significativamente a interação da água com as atividades econômicas do Brasil.

A segunda etapa consistiu em estimar uma matriz de coeficientes a ser multiplicada pelos valores do uso e do consumo setorial da água, de modo a alocar os valores entre os subsetores da matriz hídrica ampliada. Como fator de expansão, foram utilizados os seguintes critérios: o uso e o consumo de água de cada setor, em hm^3 , foi multiplicado pelo coeficiente que representa a participação do subsetor no uso ou no consumo total do setor, em R\$; e 2) os coeficientes setoriais foram utilizados alternativamente de acordo com o sentido dos fluxos da água, ou seja, o fluxo entre o meio ambiente e o sistema econômico, bem como o fluxo circular dentro do sistema econômico.

Note-se, conforme a Tabela 1, que cada conta ambiental da água está associada aos fluxos dos setores da MIP que foram utilizados para a desagregação setorial. Desse modo, foram usados como coeficientes de expansão os fluxos dos setores que concentram o maior uso e consumo da água do país, e a eles, foi associado, no fluxo circular das atividades urbanas, os coeficientes do setor serviços de água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos. Como resultado, se obteve as TRU da água, desagregada em 67 setores, para os anos de 2010 e 2015.

Tabela 1: Fluxos e setores ponderadores para desagregação das Contas Econômicas Ambientais da Água

Fluxos	Recursos e Usos	Setores ponderadores
Do meio ambiente	1. Retirada total.	Setor Agropecuário e florestas; Setor Energia elétrica.
Dentro da economia	2. Uso de água proveniente de outras atividades econômicas.	Setor Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos.
	3. Uso total da água (=1+2).	
Dentro da economia	4. Suprimento para outras atividades econômicas.	Setor Água, esgoto, reciclagem e gestão de resíduos.
Retorno para o meio ambiente	5. Retorno total.	Setor Energia elétrica; Setor Agropecuário e florestas.
Retorno para o meio ambiente	6. Total fornecido (=4+5).	
	7. Consumo total (=3-6).	

Fonte: Elaborada com base no IBGE, no Ministério do Meio Ambiente, na ANA (2018) e [Montoya \(2020\)](#).
OBS: Nos itens 1 e 5 dos Recursos e Usos, especificamente para o setor Energia elétrica, gás natural e outras utilidades; e, para o setor Água, esgoto e gestão de resíduos, não foi necessário utilizar ponderadores de expansão, já que o nível de agregação setorial das CEAA e das MIP coincidem.

As vantagens de estimar matrizes hídricas desagregadas e compatíveis com as matrizes insumo-produto radicam em permitirem avaliar, mais detalhadamente, o uso e o consumo setorial de água. A incorporação de fluxos da água de forma desagregada possibilita programar análises de impacto sobre o meio ambiente em termos setoriais e abre espaço para avaliar a contribuição da água por produtos ou por cadeias produtivas. Embora as próprias estatísticas dos dados disponíveis determinam as limitações, deve-se ressaltar que os critérios utilizados para a expansão das matrizes hídricas receberam o máximo cuidado para manter-se a coerência econômica entre os fluxos físicos e fluxos econômicos.

2.3 O modelo insumo-produto e a mensuração da pegada hídrica nacional

O modelo insumo-produto descreve os fluxos de bens e serviços entre os diferentes setores da economia brasileira, em unidades monetárias, ao longo de um ano (Tabela 2). Os fluxos intersetoriais do modelo podem ser representados da seguinte maneira. A Equação (1) mostra que a soma da demanda intermediária e da demanda final é igual a demanda total do produto do setor i . A Equação (2) mostra que o consumo intermediário mais as contribuições dos fatores de produção (Valor Adicionado) é igual à produção bruta do setor j . Finalmente, a Equação (3) mostra a condição de equilíbrio entre a oferta e a demanda para cada um dos setores produtivos da economia.

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} + \sum_{s=1}^n Y_{is} = X_i \quad (1)$$

Demanda intermediária + Demanda final = Demanda Total

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} + \sum_{r=1}^n V_{rj} = X_j \quad (2)$$

Consumo intermediário + Fatores primários (Valor adicionado) = Oferta Total

$$X_i = X_j \quad (3)$$

Demanda Total = Oferta Total

Tabela 2: Matriz insumo-produto genérica do Brasil

Insumo/Produto	Consumo intermediário (X_{ij})	Demanda final (Y_{is})		Valor bruto da produção (X_i)
		Consumo doméstico	Exportações	
Consumo intermediário	x_{ij}	f_i	e_i	X_i
Importações	m_{ij}	m_i^f	m_i^e	m_i
Valor adicionado	V_{rj}	-	-	-
Valor bruto dos insumos	X_j	-	-	-
Consumo de água doce	w_j	-	-	-

Fonte: Montoya (2020).

Para o estudo da pegada hídrica nacional, no modelo, foram deixadas em evidência as importações intermediárias e finais (Equação 4). No lado dos fatores primários foi adicionado um vetor linha, w_j , que contém o consumo de água doce em cada setor.

$$m_i = \sum_{j=1}^n m_{ij} + m_i^f + m_i^e \quad (4)$$

No modelo de insumo-produto, supõe-se que os coeficientes de produção são fixos, assim sendo, os requerimentos de insumos intermediários têm uma participação fixa em relação à produção bruta dos setores. Os coeficientes técnicos (a_{ij}) representam a quantidade de insumos do setor i requerida ou necessária para produzir uma unidade do produto do setor j . Assim:

$$a_{ij} = \frac{X_{ij}}{X_j} \quad \text{ou} \quad X_{ij} = a_{ij}X_j \quad (5)$$

Substituindo a Equação (5) na Equação (2), e fazendo $\sum_{s=1}^n Y_{is} = Y_i$, obtém-se o sistema de Equações (6).

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j + Y_i = X_i \quad (6)$$

A solução do modelo insumo-produto clássico para estudar as interdependências dos setores de uma economia pode ser expressa matricialmente pela Equação (7), cuja solução é dada pela Equação (8):

$$AX + Y = X \quad (7)$$

$$X = (I - A)^{-1}Y \quad (8)$$

Os coeficientes da matriz inversa de Leontief $(I - A)^{-1}$ são chamados de requerimentos totais de produção, ou seja, requerimentos diretos e indiretos de produção. Eles indicam, em unidades monetárias, a produção no setor i que é necessária para atender a uma unidade monetária da demanda final. Note-se que a demanda final do modelo é exógena e o elo com a produção total é construído com a matriz inversa.

2.3.1 “Água virtual” no modelo insumo-produto

Inicialmente, para mensurar a pegada hídrica nacional, é necessário calcular a “água virtual” do sistema econômico. No entanto, a “água virtual”, convencionalmente medida em metros cúbicos por tonelada de produção (m^3/t), deve ser modificada no modelo insumo-produto como a quantidade de água incorporada por cada unidade monetária produzida para a demanda final ($m^3/R\$$). A nova unidade de medida obedece aos seguintes fatos: 1) Uma das principais premissas do modelo insumo-produto é que cada setor produz um único produto e todo produto utiliza os mesmos processos e tecnologia, o que significa que cada setor representa apenas um único produto na estrutura do modelo; 2) Embora sejam bens físicos circulando no sistema econômico, na estrutura insumo-produto, a unidade monetária deve ser redefinida como uma unidade da água virtual – nesta pesquisa, hectômetros cúbicos de água doce por real ($hm^3/R\$$).

Na Tabela 1, com a inserção, de um vetor linha, do consumo setorial de água doce, o modelo insumo-produto é estendido para calcular a “água virtual”. Então, a matriz de coeficientes diretos da “água virtual” pode ser derivada como:

$$\omega_j = \frac{w_j}{X_j} \quad (9)$$

em que w_j é o insumo de água doce do setor j , X_j é o produto bruto do setor i , e ω_j é a quantidade de água consumida pelo setor i para aumentar uma unidade monetária de produção no setor j .

O vetor dos coeficientes de água reescrito como uma matriz diagonal ($\hat{\omega}_j$) é multiplicado pela matriz de coeficientes técnicos (A), resultando no coeficiente direto de “água virtual” (α_j), conforme Equação (10).

$$\alpha_j = \sum_i \omega_i A \quad (10)$$

sendo α_j a quantidade de água direta consumida pelo setor i para produzir uma unidade monetária da demanda final do setor j .

Logo, o coeficiente total de água virtual pode ser conseguido multiplicando ($\hat{\omega}_j$) pela matriz inversa de Leontief, $(I - A)^{-1}$, ou seja:

$$\delta_j = \sum_i \omega_i (I - A)^{-1} \quad (11)$$

em que δ_j , conhecido como “água virtual”, representa a água total consumida pelo setor i para gerar uma unidade monetária da demanda final no setor j .

Considerando que a demanda final de um produto está vinculada ao consumo direto e indireto de água, o coeficiente de “água virtual” indireto (γ_j) é calculado subtraindo da “água virtual” total (δ_j) a “água virtual” direta (α_j), o que indica a

necessidade de água virtual indireta do setor i para produzir uma unidade monetária no setor j que será destinada para a demanda final.

2.3.2 Pegada hídrica nacional no modelo insumo-produto ecológico

Em termos gerais, a pegada hídrica nacional está composta pelos recursos hídricos de origem nacional e origem importada incorporada na produção dos bens e serviços finais do país, ou seja, a água consumida que é exportada não é considerada já que será consumida por outros países. Assim, torna-se necessário decompor, do consumo total de água doce do país (w_j), a água consumida de origem nacional (T_j) e a água consumida de origem importada (F_j).

A seguir, apresenta-se de forma sucinta a metodologia de cálculo da pegada hídrica nacional. Contudo, uma apresentação mais detalhada e debatida do método pode ser encontrada em Zhao, Chen e Yang (2009) e Montoya (2020).

A **pegada hídrica interna** (T_j) pode ser apresentada como:

$$T_j = \delta_j \times f_j \quad \text{ou} \quad T_j = \omega_i (I - A)^{-1} f_j \quad (12)$$

em que T_j representa a água utilizada para o consumo interno da demanda final, produzida no mercado interno no setor j , e f_j representa, na demanda final, o consumo interno do setor j ; dessa forma, não considera as exportações.

A **pegada hídrica externa** (F_j) ou volume de “água virtual” importada em cada setor da demanda intermediária e cada componente da demanda final pode ser expresso como:

$$F_j = S^f + S^{in} \quad (13)$$

em que S^f é a “água virtual” importada diretamente para a demanda final doméstica, e S^{in} representa a “água virtual” importada para o consumo intermediário induzido pela demanda final doméstica.

A **“água virtual” importada diretamente para a demanda final** (S^f) pode ser calculada multiplicando o valor das importações incorporadas na demanda final por δ_j :

$$S_j^f = \delta_j \times m_j^f \quad \text{ou} \quad S_j^f = \omega_i (I - A)^{-1} m_j^f \quad (14)$$

em que S_j^f denota a “água virtual” importada para a demanda final do setor j , e m_j^f é o valor da importação para a demanda final do setor j .

A **“água virtual” importada para a demanda intermediária** (S^{in}) que depois será consumida pela demanda final doméstica pode ser derivada como:

$$S_j^{in} = \left(\sum_i \delta_i \times m_{ij} \right) \times \theta_j \quad (15)$$

em que m_{ij} significa o valor de entrada intermediário da importação, θ_j representa um coeficiente de ajuste derivado como a proporção do resultado da demanda final menos a exportação sobre a demanda final, e S_j^{in} é a “água virtual” importada como uso intermediário do setor j .

Portanto, a **pegada hídrica nacional** (PHN) do sistema econômico como um todo é dada pela soma da pegada hídrica interna e externa, ou seja:

$$PHN = T + S^f + S^{in} \quad (16)$$

2.3.3 Intensidade da pegada hídrica nacional

Para avaliar a distribuição do consumo de “água virtual” na demanda final doméstica entre os setores do sistema econômico, o índice de intensidade da pegada hídrica (ρ_j) é calculado como a participação da pegada hídrica nacional do setor j no total da pegada hídrica nacional, dividido pela participação da demanda final doméstica do setor j na demanda final doméstica total, a saber:

$$\rho_j = \frac{PHN_j}{\sum PHN_j} / \frac{f_j}{\sum f_j} \quad (17)$$

Os resultados da pegada hídrica nacional dividida pela demanda final doméstica total mostram a situação média do consumo de água dos setores na demanda final doméstica. Assim, considera-se o resultado médio como um valor crítico da intensidade. Então, $\rho_j > 1$ significa que o setor j é um setor intensivo em consumo de água, $\rho_j < 1$ significa o setor não é intensivo no consumo de água e $\rho_j = 1$ significa que a intensidade do setor j é o mesmo que a situação média.

2.4 Base de dados

Os dados monetários utilizados nesta pesquisa foram extraídos das Matrizes de Insumo-Produto (MIP) de 2010 e 2015 do IBGE (2015, 2018). Os setores foram agregados em 33 setores em função dos objetivos da pesquisa. Os setores da agropecuária e indústria de transformação foram deixados em evidência em função de concentrarem o maior consumo de água do país. Para a compilação das matrizes, adotou-se o modelo de tecnologia do setor cuja hipótese central é de que a tecnologia é uma característica das atividades; assim, a tecnologia para a produção dos bens e serviços é determinada pela atividade que os produz.

Os dados sobre a água foram extraídos das Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA) de 2015 do IBGE (2018a), com informações das TRU Físicas construídas de acordo com as recomendações metodológicas internacionais do System of Environmental-Economic Accounting for Water (SEEA-Water), desenvolvida e publicada pela Divisão de Estatísticas das Nações Unidas (United Nations Statistics Division - UNSD). Originalmente, a CEAA apresenta uma TRU composta por sete fluxos hídricos e seis setores ou atividades econômicas em unidades físicas. Contudo, para esta pesquisa, foi estimada uma TRU para 2010 e ela conforme a TRU de 2015 foi desagregada com base nas metodologias propostas por Montoya e Finamore (2020) e Montoya, Lopes e Guilhoto (2014).

As informações das MIPs de 2010 e 2015 estão a preços básicos e em milhões de reais de 2015, com base no deflator do PIB. Já as informações físicas da CEAA estão em hectômetros cúbicos (hm^3), o que corresponde a um milhão de metros cúbicos (m^3) ou um bilhão de litros de água.

3 O consumo de água e a “água virtual” na economia brasileira

Com base na metodologia usada e considerando que o consumo de água historicamente está relacionado com o crescimento econômico e populacional, a seguir é apresentada uma análise comparativa entre a trajetória econômica do país e o consumo

setorial de água de 2010 a 2015, bem como as mudanças tecnológicas no consumo de “água virtual” ocorridas em cada setor da economia brasileira.

3.1 O consumo setorial de água no Brasil

A performance da economia brasileira de 2010 a 2015, foi fortemente influenciada pelo preço das commodities, pelos reflexos remanescentes da crise econômica mundial de 2008, bem como pelas políticas anticíclicas pautadas pela redução de impostos e de taxas de juros para setores-chave da economia. Contudo, em função das incertezas, falta de investimento privado e crescimento econômico fraco, a desoneração fiscal tornou-se excessiva ao ponto de deteriorar as contas públicas e aumentar o desequilíbrio fiscal. Em decorrência disso, o crescimento econômico brasileiro nesse período passou por uma virada brusca, saindo de um boom econômico em 2010, com crescimento do PIB de 7,5% com relação ao ano anterior, para uma profunda recessão em 2015, onde a economia decresceu -3,8%.

Nessa trajetória de desaceleração econômica, o ritmo de crescimento médio do PIB entre 2010 a 2015 foi de 1,38% a.a. (Tabela 3). A recessão da economia não foi maior graças ao crescimento das atividades desenvolvidas pela Agropecuária (2,11% a.a.) e pelos Serviços (2,53% a.a.), frente aos agregados Agroindústria (-0,37% a.a.) e Indústria (-3,13% a.a.) que tiveram crescimento negativo no período.

Tabela 3: PIB e Consumo de água dos agregados setoriais do Brasil de 2010 a 2015, em milhões de reais de 2015, hm³/ano e percentuais

Agregados setoriais	Evolução do PIB					Evolução do consumo de água				
	2010		2015		Taxa de crescimento a.a.	2010		2015		Taxa de crescimento a.a.
	milhões	%	milhões	%		hm ³ /ano	%	hm ³ /ano	%	
Agropecuária	233.037	4,8	258.967,0	5,0	2,11	19.725	71,5	23.704	77,6	3,67
Agroindústria	220.704	4,6	216.634,0	4,2	-0,37	3.306	12,0	2.804	9,2	-3,30
Indústria	950.405	19,7	812.570,0	15,8	-3,13	1.088	3,9	926	3,0	-3,24
Serviços	3.408.422	70,8	3.867.430,0	75,0	2,53	3.468	12,6	3.120	10,2	-2,11
Total	4.812.569	100,0	5.155.601,0	100,0	1,38	27.588	100,0	30.554	100,0	2,04

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa do Anexo 3 e 4.

Considerando que as atividades produtivas requerem de abundantes recursos hídricos, verifica-se no período que o consumo de água no Brasil aumentou de 27.588 hm³/ano para 30.554 hm³/ano, a uma taxa média de crescimento de 2,04% a.a., inclusive superior ao que apresenta o PIB do país. Cabe salientar, contudo, que o aumento no consumo de água foi impulsionado pelo agregado Agropecuário que apresenta uma taxa de crescimento de 3,67% a.a., concentrando de 71,5% a 77,6% do consumo nacional. Além disso, foi o único agregado setorial que apresentou aumento no consumo de água em suas atividades produtivas, passando de 19.725 hm³ em 2010, para 23.704 hm³ em 2015.

Em nível setorial, a Tabela 4 mostra de forma comparativa os setores que mais consumiram água na economia brasileira nos anos de 2010 e 2015. Observa-se que nove setores consumiram de 93,6% a 95,0% da água do país, mantendo padrões estruturais

similares de consumo; embora o consumo de água varie de setor para setor, de acordo com a natureza de seu processo produtivo.

Tabela 4: Os maiores consumos setoriais de água na economia brasileira de 2010 a 2015, em hm³/ano e percentuais

SETORES	2010		2015*	
	hm ³ /ano	%	hm ³ /ano	%
1 - Agricultura	14.233	51,6	16.278	53,3
2 - Pecuária	4.833	17,5	6.630	21,7
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	659	2,4	795	2,6
5 - Abate e produtos de carne, do laticínio e da pesca	1.296	4,7	1.201	3,9
6 - Fabricação e refino de açúcar	482	1,7	322	1,1
7 - Outros produtos alimentares	1.033	3,7	880	2,9
19 - Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e fundição	396	1,4	295	1,0
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	2.521	9,1	2.270	7,4
32 - Administração pública e seguridade social	413	1,5	338	1,1
- Demais setores (24 setores)	1.722	6,4	1.545	5,0
TOTAL	27.588	100,0	30.554	100,0

Fonte: Dados da pesquisa e Anexo 4

Por exemplo, no período, o setor Agricultura concentra de 51,6% a 53,3% o consumo de água do país, o setor Pecuário de 17,5% a 21,7%, e o setor Água, esgoto e gestão de resíduos (de 9,1% a 7,4%), evidenciando que as atividades que envolvem a produção de alimentos e os serviços de saneamento demandam grandes volumes de água do meio ambiente. Num segundo patamar, a concentração no consumo de água no período é relevante no setor Abate e produtos de carne (de 4,7% a 3,9%), setor Outros produtos alimentares (de 3,7% a 2,9%), setor Produção florestal (de 2,4% a 2,6%) setor Fabricação e refino de açúcar (de 1,7% a 1,1%) e o setor Administração pública e seguridade social (de 1,5% a 1,1%). Os 24 setores restantes da economia apresentam participação média no consumo de água, no período, abaixo de 1%.

Com fins de relacionar as tendências do desempenho econômico com o consumo de água, na Figura 1 são apresentadas as taxas de crescimento setorial do PIB e do consumo de água, no período de 2010 e 2015.

A trajetória comparativa das taxas de crescimento do PIB e do consumo de água, evidenciam que dos 33 setores da economia brasileira, 21 setores ou 64% deles apresentam a mesma direção. Isto é, em nível setorial, a evolução do consumo de água no período está fortemente relacionada com o desempenho das atividades econômicas. Fato observado, em termos agregados, pela Agência Nacional de Águas (2019) na série de vazões de água dos últimos 70 anos.

Dentre os 21 setores que apresentaram desempenho na mesma direção, 16 setores, que em sua maioria compõem a Agroindústria e Indústria do país, mostraram tendência de crescimento negativa, e os restantes 5 setores, que compõem a Agropecuária e parte dos Serviços, mostram tendência de crescimento positiva. Das diferentes direções que tomou o consumo setorial de água, emergem duas evidências: **a)** a redução do consumo de água na maioria dos setores está relacionado a desaceleração do crescimento econômico que vivenciou o país, no período de 2010 para 2015; **b)** a pesar da maioria dos setores ter reduzido seu consumo, o consumo total de água no Brasil aumentou de 27.588

hm³/ano em 2010, para 30.554 hm³/ano em 2015, principalmente impulsionado pelos setores da Agropecuária.

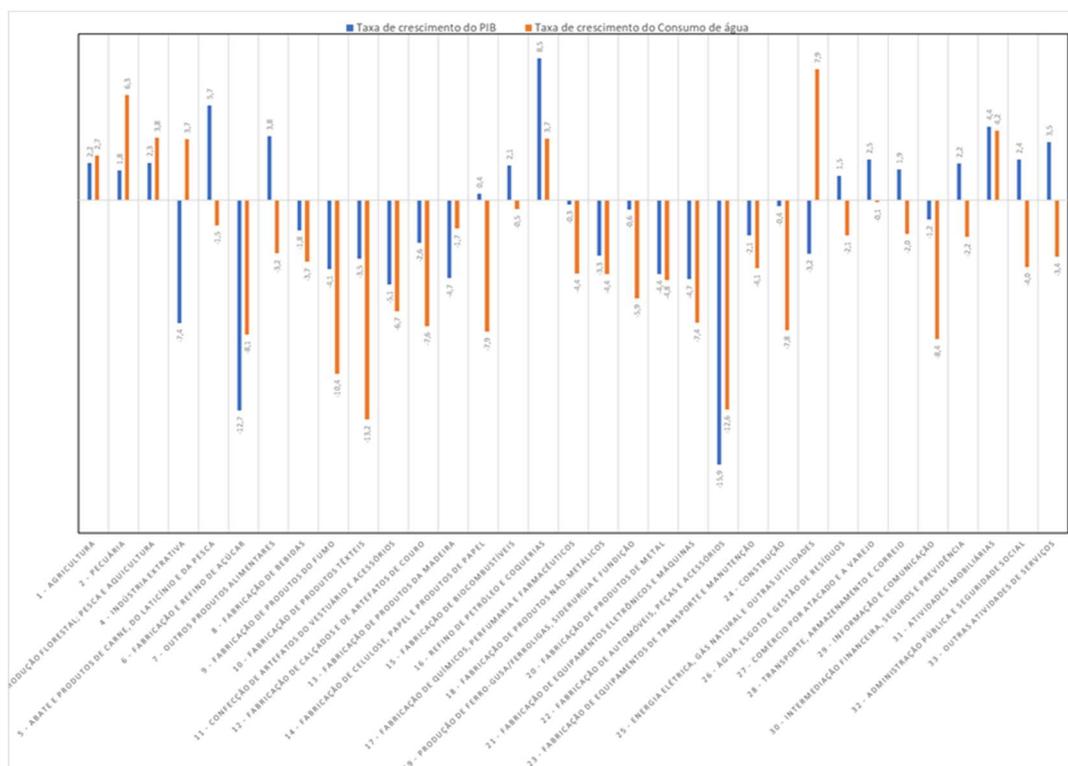


Figura 1: Taxa de crescimento setorial ao ano do PIB e do Consumo de água na economia brasileira no período de 2010 a 2015, em percentuais.

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa do Anexo 3 e 4.

A questão é, as mudanças no consumo setorial de água foram estimuladas pelo desempenho econômico ou porque também ocorreram mudanças tecnológicas nas funções de produção dos setores?

3.2 Os requerimentos de “água virtual” e as mudanças tecnológicas

Lembrando que no modelo insumo-produto cada setor representa uma função de produção que produz um único produto, os resultados apresentados na Figura 2 e na Tabela 6 mostram a “água virtual” total incorporada em cada setor por unidade produzida, bem como sua composição direta e indireta. A “água virtual” direta representa a quantidade de água inicial consumida na produção de um setor para satisfazer a demanda final; e a “água virtual” indireta reflete o consumo adicional de água nos fluxos de compras e de vendas dos setores para atender à demanda final.

A rigor, os requerimentos de “água virtual” por unidade produzida representam coeficientes tecnológicos da função de produção de cada setor. Os coeficientes tecnológicos permitem, por um lado, identificar os setores com maior e menor intensidade na incorporação de água nos produtos e, por outro lado, avaliar se ocorreram mudanças tecnológicas que conduzem para maiores ou menores níveis de eficiência no consumo de “água virtual”. Assim sendo, para diferenciar os setores mais intensivos e menos

intensivos na incorporação de “água virtual”, foi estabelecido como parâmetro o conteúdo de “água virtual” total de um produto acima da média do país. Isso porque o aumento na demanda final de um setor relevante não somente aumentará o consumo direto de água no próprio setor, mas também forçará um aumento indireto no consumo de água dos demais setores da economia.

Considerando que a média de “água virtual” total do país em 2010 foi de 0,0114 $\text{hm}^3/\text{R}\$$ e em 2015 de 0,0111 $\text{hm}^3/\text{R}\$$, verifica-se que nove setores exercem pressão acima das médias sobre os recursos hídricos (Figura 2), dos quais: **a)** três setores - setor Pecuária, setor Produção florestal e o setor Fabricação de produtos do fumo - aumentaram os requerimentos de “água virtual” indicando perda de eficiência em seus processos produtivos; **b)** seis setores - setor Agricultura, setor Abate e produtos de carne, setor Outros produtos alimentares, setor Fabricação e refino de açúcar, setor Fabricação de biocombustíveis e, o setor Água, esgoto e gestão de resíduos - reduziram os requerimentos de “água virtual” por unidade produzida, assinalando ganhos de eficiência tecnológica em seus processos produtivos, ou seja, evidenciam mudanças tecnológicas que conduzem para uma melhor conciliação das atividades produtivas com a conservação dos recursos hídricos.

Cabe salientar que os nove setores com maiores requerimentos de “água virtual” responderam, em 2010 por 91,7% do consumo total de água no país e em 2015, por 93,6% (Tabela 5). Em virtude disso, mudanças na incorporação de “água virtual” em setores que concentram significativamente o consumo de água, refletem em grande medida as mudanças tecnológicas mais importantes que vem ocorrendo nos processos produtivos da economia brasileira.

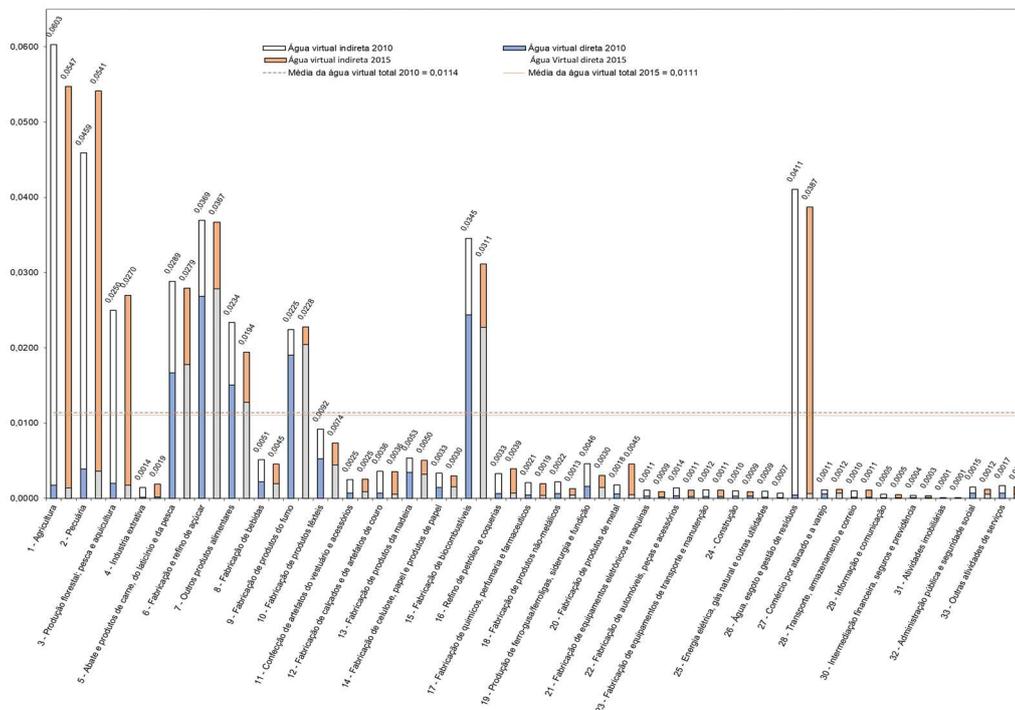


Figura 2: “Água virtual” total, direta e indireta nos setores da economia brasileira no ano de 2010 e 2015, em $\text{hm}^3/10^6 \text{R}\$$ ano e valores de 2015

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa da Tabela 6.

Conforme a Tabela 5, no grupo de setores que intensificou os requerimentos de “água virtual”, a produção do setor Pecuário, - que concentra de 17,5% a 21,7% o consumo de água do país, apresentou crescimento positivo no PIB (1,78% a.a.) e no volume de água consumido (6,32% a.a.) – destaca-se pela maior perda de eficiência. No setor, o aumento de um milhão de reais na demanda final provocou em 2010 um aumento de “água virtual” total de 0,0459 hm³/R\$, e em 2015 o aumento foi para 0,0541 hm³/R\$, o que equivale no período a um consumo adicional de 8.196 m³/R\$ de “água virtual” por unidade produzida. Esta evidência mostra que existe a necessidade de buscar nos processos da produção pecuária ganhos de eficiência no consumo de recursos hídricos. Isso até porque, se considerarmos a cadeia produtiva da pecuária como um todo (Pecuário + Abate e produtos de carne), o setor Abate e produtos de carne que faz parte dessa cadeia, além de apresentar redução nos requerimentos de “água virtual” (de 0,0289 hm³/R\$ para 0,0279 hm³/R\$) no ordem de 929 m³/R\$ por unidade produzida no período, apresentou também, simultaneamente, taxa de crescimento positiva (5,69% a.a.) no PIB e taxa de crescimento negativa no volume consumido de água (-1,52% a.a.). Assim, para que os elos da matéria-prima carnes com a indústria processadora se tornem mais eficiente no consumo de “água virtual”, torna-se necessário procurar práticas produtivas que otimizem os usos dos recursos hídricos no setor primário de produção animal.

Embora o setor Produção florestal e setor Fabricação de produtos do fumo também apresentaram perda de eficiência no consumo de “água virtual”, essas perdas foram menores quando comparadas com o setor Pecuário. Assim sendo, o setor Produção florestal, que apresentou taxas de crescimento positivas no PIB (2,25% a.a.) e no consumo de água (3,76% a.a.), sua perda de eficiência na produção implicou no aumento de mais 2.023 m³/R\$ de “água virtual” por unidade produzida. Já O setor Fabricação de produtos do fumo, a perda de eficiência foi superior a 308 m³/R\$ de “água virtual” para cada milhão de reais na demanda final.

No grupo de setores onde as mudanças tecnológicas permitiram menor consumo de “água virtual” por unidade produzida, destaca-se o setor Agricultura por ter reduzido seus requerimentos de 0,0603 hm³/R\$, em 2010, para 0,0547 hm³/R\$ em 2015, ou seja, uma redução líquida de 5.599 m³/R\$ de “água virtual” por cada milhão de reais na demanda final. Esta evidência é da maior relevância tanto para a economia quanto para o meio ambiente do Brasil na medida que o setor Agricultura no período apresentou crescimento positivo no PIB (2,24% a.a.), no consumo de água (2,69% a.a.) e, sobretudo, por concentrar de 51,6% a 53,3% o consumo de água do país. Poder-se-ia argumentar que a taxa de câmbio provocou algum viés favorável para a eficiência tecnológica, na medida que grande parte da produção agrícola tem como destino o mercado internacional. Contudo, isso não é verdade já que Braga e Oliveira (2018), ao testar a relação entre a taxa de câmbio e a renda mundial sobre as exportações do Brasil entre 2000 e 2015, verificam estatisticamente que as exportações do país foram influenciadas pelo aumento da renda mundial, principalmente da China que é o principal parceiro comercial da agricultura brasileira.

Tabela 5: Setores com maior requerimento total de “água virtual”, mudança tecnológica, taxas de crescimento e importância relativa no consumo de água no Brasil de 2010 a 2015, em hm³/10⁶, m³/10⁶ e percentuais

MIP ÁGUA 2010 e 2015 BR – Setor	Taxa crescimento a.a. de 2010 a 2015*		Participação setorial no Consumo de água total (w_j)		Mudança tecnológica setorial no requerimento total de “água digital” (δ_j)		
	PIB	(w_j)	2010	2015*	2010	2015*	Resultado líquido
	%	%	%	%	hm ³ /R\$	hm ³ /R\$	m ³ /R\$
1 - Agricultura	2,24	2,69	51,6	53,3	0,0603	0,0547	-5.599
2 - Pecuária	1,78	6,32	17,5	21,7	0,0459	0,0541	8.196
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	2,25	3,76	2,4	2,6	0,0250	0,0270	2.023
5 - Abate e produtos de carne, laticínio e pesca	5,69	-1,52	4,7	3,9	0,0289	0,0279	-929
6 - Fabricação e refino de açúcar	-12,65	-8,07	1,7	1,1	0,0369	0,0367	-211
7 - Outros produtos alimentares	3,85	-3,20	3,7	2,9	0,0234	0,0194	-3.934
9 - Fabricação de produtos do fumo	-4,14	-10,44	0,0	0,0	0,0225	0,0228	308
15 - Fabricação de biocombustíveis	2,07	-0,55	0,9	0,8	0,0345	0,0311	-3.414
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	-0,37	-2,10	9,1	7,4	0,0411	0,0009	-40.198

Fonte: Dados da pesquisa dos Anexos 3, 4 e Tabela 6.

Certamente, os ganhos de eficiência no consumo de “água virtual” do setor Agricultura estão associados, a modernização da agricultura brasileira e a infraestrutura desenvolvida no país para atender à crescente demanda por recursos hídricos. A esse respeito, o melhoramento genético, o sistema plantio direto na palha e o avanço da biotecnologia, desenvolveram cultivares com maior rendimento, menor uso de pesticidas, ciclo mais curto de produção, plantas com raízes maiores e menor estatura, que aumentaram, dentre outros, a eficiência na absorção de água (FLOSS, 2020) e, sobretudo, pelo menor tamanho das plantas, permitiram incorporar a cada safra menos volumes de água nas plantações; fato que explica, por um lado, o crescente aumento da produção agrícola com menor volume de “água virtual” por unidade produzida e, por outro, evidencia no campo processos produtivos que conciliam o crescimento da agricultura de alta tecnologia com a conservação e a preservação do meio ambiental. Com relação a infraestrutura, as diversas obras de engenharia que foram implementadas no país para corrigir a distribuição natural das chuvas e dos rios, permitiram o uso mais racional da água ao longo do território nacional. Dentre essas obras, destacam-se: a construção de reservatórios artificiais; a integração do rio São Francisco com as bacias hidrográficas do nordeste setentrional, por meio de sua transposição; a promoção de projetos de irrigação para o uso de pivôs centrais, que, segundo a Embrapa (2016), irrigam uma área de 1,275 milhão de hectares e coloca o Brasil entre os dez países com maior área irrigada no planeta. Além disso, a crescente adoção de tecnologias sistêmicas de *smart farming* permite o uso mais racional de recursos, inclusive da água em sistemas de irrigação agrícola (Pivoto et al., 2018; Pivoto et al., 2019; Carrer et al., 2017).

Por sua vez, o setor Outros produtos alimentares e setor Fabricação de biocombustíveis, obtiveram ganhos de eficiência tecnológica na medida em que diminuíram significativamente o consumo de “água virtual” em 3.934 m³/R\$ e 3.414 m³/R\$ por unidade produzida, respectivamente. O setor Fabricação e refino de açúcar, em menor escala, também reduziu os requerimentos de “água virtual” em 211 m³/R\$ por unidade produzida.

Enfim, o conjunto de mudanças tecnológicas que ocorreram nos setores da economia evidenciam ganhos de eficiência, principalmente, na produção de alimentos in natura, alimentos processados e nos biocombustíveis que conduzem as famílias para um

consumo de produtos que vem otimizando os recursos hídricos. Assim sendo, grande parte dos produtos finais consumidos pelas famílias estão incorporando a cada ano menores quantidades de “água virtual”.

O setor Água, esgoto e gestão de resíduos, que concentra de 9,1% a 7,4% o consumo de água do país, apresenta crescimento negativo no PIB (-0,37% a.a.) e no volume de água consumido (-2,10% a.a.), destaca-se, dentre os setores do país, por apresentar os maiores ganhos de eficiência tecnológica, com redução de 40.198 m³/R\$ de “água virtual” por unidade produzida. Segundo OES (2019), somente 83,3% dos brasileiros têm acesso à água tratada e 43% da população vive em cidades sem rede de esgoto. Portanto, os serviços de saneamento básico, como abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgoto, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais não atendem a toda a população. Apesar disso, os resultados evidenciam melhoras significativas no consumo de “água virtual” nas atividades de saneamento. As possibilidades de maiores investimentos no setor que ampliem os serviços de saneamento para toda a população poderão aumentar ainda mais a eficiência no consumo de água. Assim, sabendo que este setor abastece as residências, as indústrias, as atividades do comércio e dos serviços, a otimização observada no consumo de “água virtual”, sugere que seus serviços vêm contribuindo com a qualidade de vida da população e com menor estresse sobre o meio ambiente.

Logo, considerando as diversas mudanças tecnológicas que apresentaram os nove setores com maiores requerimentos de “água virtual”, fica evidente que um eventual crescimento da demanda final deverá resultar, simultaneamente, em maiores necessidades de recursos hídricos no país. Contudo, em função dos seis setores que apresentaram ganhos de eficiência no consumo de “água virtual” e concentraram de 71,7% a 69,4% do consumo de água no Brasil, a demanda por maiores recursos hídricos se tornou melhor qualificada, já que está associado a processos produtivos que estão otimizado os recursos hídricos e, portanto, conservando o meio ambiente.

3.2.1 A “água virtual” direta e indireta nos setores produtivos

A pressão relativa que os diversos setores da economia podem exercer sobre a necessidade de água pode ser estabelecida também analisando em separado a relação dos efeitos diretos *versus* indiretos no processo produtivo, ou seja, a influência que um setor exerce sobre o consumo de água de outros setores. Se na composição da “água virtual” total, o efeito direto, que representa o consumo inicial de água por unidade de produção, for pequeno em relação ao efeito indireto, que reflete o maior consumo de água decorrente dos fluxos de compras e vendas dos setores para atender à demanda final, o poder que exerce um setor sobre o consumo de água no sistema econômico será grande. Assim, setores com alto peso na demanda de água e que, ao mesmo tempo, apresentam uma baixa relação no consumo de “água virtual” direta *versus* indireta tendem a produzir as mais fortes pressões de necessidade de água (MONTROYA; PASQUAL, 2015; MONTROYA; FINAMORE, 2019^a; MONTROYA; TALAMINI, 2020).

Nesse sentido, conforme dados da Tabela 6, verifica-se no período de 2010 a 2015 que o setor Agricultura, o setor Pecuária e o setor Água, esgoto e gestão de resíduos têm um peso significativo no consumo total de água do país e apresentam as mais baixas

relações de “água virtual” direta *versus* indireta, indicando que exercem forte pressão sobre o consumo de água no sistema econômico. Por exemplo, em 2010 a “água virtual” indireta do setor Agricultura foi 34,47 vezes maior ($0,0586 \text{ hm}^3/\text{R\$} \div 0,0017 \text{ hm}^3/\text{R\$} = 34,47$) do que a “água virtual” direta e, em 2015 foi 38,01 vezes maior ($0,0533 \text{ hm}^3/\text{R\$} \div 0,0014 \text{ hm}^3/\text{R\$} = 38,01$), indicando que, para cada m^3 de água consumida na produção do setor, houve uma demanda adicional crescente, passando de 34,47 m^3 em 2010 para 38,01 m^3 de “água virtual” de forma indireta em 2015.

Tabela 6: A composição do consumo total de “água virtual” na economia brasileira - ano de 2010 e 2015, em $\text{hm}^3/10^6 \text{ R\$}$ ano, valores de 2015

MIP ÁGUA 2010 e 2015 BR – Setor	Ano 2010 em $\text{hm}^3/10^6 \text{ R\$}$			Ano 2015* em $\text{hm}^3/10^6 \text{ R\$}$		
	Direto (α_j)	Indireto (γ_j)	Total (δ_j)	Direto (α_j)	Indireto (γ_j)	Total (δ_j)
1 - Agricultura	0,0017	0,0586	0,0603	0,0014	0,0533	0,0547
2 - Pecuária	0,0039	0,0420	0,0459	0,0036	0,0505	0,0541
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	0,0020	0,0230	0,0250	0,0017	0,0253	0,0270
4 - Indústria extrativa	0,0002	0,0013	0,0014	0,0002	0,0017	0,0019
5 - Abate e produtos de carne, do laticínio e da pesca	0,0167	0,0122	0,0289	0,0178	0,0102	0,0279
6 - Fabricação e refino de açúcar	0,0269	0,0101	0,0369	0,0278	0,0089	0,0367
7 - Outros produtos alimentares	0,0151	0,0083	0,0234	0,0128	0,0067	0,0194
8 - Fabricação de bebidas	0,0022	0,0029	0,0051	0,0020	0,0026	0,0045
9 - Fabricação de produtos do fumo	0,0190	0,0035	0,0225	0,0204	0,0024	0,0228
10 - Fabricação de produtos têxteis	0,0052	0,0039	0,0092	0,0044	0,0029	0,0074
11 - Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	0,0007	0,0018	0,0025	0,0009	0,0017	0,0025
12 - Fabricação de calçados e de artefatos de couro	0,0007	0,0029	0,0036	0,0005	0,0030	0,0036
13 - Fabricação de produtos da madeira	0,0034	0,0019	0,0053	0,0032	0,0018	0,0050
14 - Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	0,0015	0,0019	0,0033	0,0015	0,0015	0,0030
15 - Fabricação de biocombustíveis	0,0244	0,0102	0,0345	0,0227	0,0084	0,0311
16 - Refino de petróleo e coquearias	0,0006	0,0027	0,0033	0,0007	0,0032	0,0039
17 - Fabricação de químicos, perfumaria e farmacêuticos	0,0004	0,0017	0,0021	0,0004	0,0016	0,0019
18 - Fabricação de produtos não-metálicos	0,0006	0,0016	0,0022	0,0004	0,0008	0,0013
19 - Produção de ferro-gusa, siderurgia e fundição	0,0016	0,0030	0,0046	0,0015	0,0016	0,0030
20 - Fabricação de produtos de metal	0,0006	0,0012	0,0018	0,0005	0,0041	0,0045
21 - Fabricação de equipamentos eletrônicos e máquinas	0,0003	0,0008	0,0011	0,0002	0,0007	0,0009
22 - Fabricação de automóveis, peças e acessórios	0,0003	0,0010	0,0014	0,0002	0,0009	0,0011
23 - Fabricação de equipamentos transp. e manutenção	0,0003	0,0009	0,0012	0,0002	0,0009	0,0011
24 - Construção	0,0003	0,0007	0,0010	0,0003	0,0006	0,0009
25 - Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	0,0002	0,0008	0,0009	0,0001	0,0006	0,0007
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	0,0004	0,0407	0,0411	0,0006	0,0381	0,0387
27 - Comércio por atacado e a varejo	0,0006	0,0005	0,0011	0,0007	0,0005	0,0012
28 - Transporte, armazenamento e correio	0,0001	0,0009	0,0010	0,0001	0,0010	0,0011
29 - Informação e comunicação	0,0001	0,0004	0,0005	0,0001	0,0004	0,0005
30 - Intermediação financeira, seguros e previdência	0,0001	0,0003	0,0004	0,0001	0,0003	0,0003
31 - Atividades imobiliárias	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0001	0,0001
32 - Administração pública e seguridade social	0,0007	0,0008	0,0015	0,0005	0,0006	0,0012
33 - Outras atividades de serviços	0,0007	0,0010	0,0017	0,0006	0,0009	0,0015
TOTAL	0,1314	0,2435	0,3748	0,1281	0,2376	0,3658
Média	0,0040	0,0074	0,0113	0,0039	0,0072	0,0111
Multiplicador do consumo de água	1	1,8535	2,8535	1,0000	1,8545	2,8545

Fonte: Dados da pesquisa.

Cabe salientar que os maiores volumes de “água virtual” direta do sistema econômico nos anos de 2010 e 2015 estão localizados no setor Fabricação e refino de açúcar ($0,0269 \text{ hm}^3/\text{R\$}$ e $0,0278 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), setor Fabricação de biocombustíveis ($0,0244 \text{ hm}^3/\text{R\$}$ e $0,0227 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), setor Fabricação de produtos do fumo ($0,0190 \text{ hm}^3/\text{R\$}$ e $0,0204 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), setor Abate e produtos de carne ($0,0167 \text{ hm}^3/\text{R\$}$ e $0,0178 \text{ hm}^3/\text{R\$}$) e no setor Outros produtos alimentares ($0,0151 \text{ hm}^3/\text{R\$}$ e $0,0128 \text{ hm}^3/\text{R\$}$). Contudo, se somente a “água virtual” direta fosse levada em consideração, sem observar a “água virtual” indireta, setores como Agricultura, Pecuária, Produção florestal e Água e gestão

de resíduos provavelmente seriam desconsiderados no planejamento da política de recursos hídricos. Portanto, para economizar água, não apenas se deve prestar atenção à eficiência do consumo de água no local da produção, mas também se deve observar, ao longo das cadeias produtivas, se os insumos intermediários também consomem “água virtual” de maneira eficiente.

Finalmente, os resultados globais da “água virtual” da economia brasileira indicam que, se em 2010 ocorresse um aumento de um milhão de reais na demanda final, ocorreria, inicialmente, um aumento no consumo de “água virtual” direta da ordem de $0,1314 \text{ hm}^3$, seguido de um aumento de “água virtual” indireta de $0,2435 \text{ hm}^3$, perfazendo um total de $0,3748 \text{ hm}^3$ de “água virtual”. Nota-se, portanto, que ocorreria um efeito multiplicador de “água virtual” equivalente a $2,8535 \text{ hm}^3$ ($0,3748 \text{ hm}^3 \div 0,1314 \text{ hm}^3 = 2,8535 \text{ hm}^3$). Desse modo, um aumento equivalente a $2.853.500 \text{ m}^3$ de água virtual para cada milhão de reais de aumento na produção da economia brasileira. Para o ano de 2015 o efeito multiplicador de água virtual aumentou para $2,8545 \text{ hm}^3$ (ou, $0,3658 \text{ hm}^3 \div 0,1281 \text{ hm}^3 = 2,8545 \text{ hm}^3$), evidenciando um impacto líquido de 1.000 m^3 a mais no consumo de água virtual por cada milhão de reais de produção em comparação com 2010.

4 Evolução da pegada hídrica brasileira de 2010 a 2015

Com base na metodologia utilizada, a seguir é apresentada a dimensão da pegada hídrica nacional. A organização dos dados e as análises procuram caracterizar o padrão da pegada hídrica setorial na economia brasileira, bem como, a composição de “água virtual” interna e externa que existe nos bens e serviços finais de cada setor.

4.1 A pegada hídrica nacional e o consumo per-capita de “água virtual”

A pegada hídrica é um indicador volumétrico que expressa basicamente a apropriação humana da água doce e permite demonstrar como os indivíduos através do consumo direto e indireto impõem pressões por mais recursos hídricos ao meio ambiente. Assim sendo, fornece uma base de informações necessárias sobre os recursos hídricos para o uso sustentável, equitativo e eficiente. A pegada hídrica nacional está composta pela somatória dos recursos hídricos de origem nacional e origem importada incorporada na produção dos bens e serviços finais do país.

Tabela 7: A pegada hídrica nacional (PHN) e o consumo per-capita de água virtual no Brasil nos anos de 2010 e 2015

Indicadores	PIB (base = 2015)	População	PHN	Consumo per-capita		Intensidade do consumo
				hm ³ /ano	m ³ /ano	
2010	4.812.569	190.732.694	22.342	117,14	320,93	4,64
2015*	5.155.601	204.450.649	22.012	107,66	294,97	4,27

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa, Anexo 3 e Montoya (2020) *.

Nesse contexto, embora o PIB e a população brasileira apresentem crescimento positivo no período, conforme dados da Tabela 7, observa-se que a pegada hídrica nacional alcançou o volume de $22.342 \text{ hm}^3/\text{ano}$ de “água virtual” em 2010, e diminuiu para $22.012 \text{ hm}^3/\text{ano}$ em 2015, ou seja, uma redução de $330 \text{ hm}^3/\text{ano}$.

Considerando que existem abundantes recursos hídricos no país, na dimensão social, os resultados evidenciam que o consumo per-capita de “água virtual” diminuiu entre os anos analisados de 117,14 m³/ano para 107,66 m³/ano, indicando que houve redução no consumo de água na ordem de 9,48 m³/ano por indivíduo. Já na dimensão econômica, a intensidade hídrica dada pela razão entre o volume consumido de “água virtual” e o PIB gerado no país, ou seja, quantos litros de água foram consumidos por cada real gerado no ano (litros/R\$); a redução de 4,64 litros/R\$ em 2010, para 4,27 litros/R\$ em 2015, indica, em média, ganhos de eficiência tecnológica nos processos produtivos, conforme observado nos requerimentos setoriais de “água virtual” (Tabela 5). Portanto, na dimensão social e econômica, a pressão por maiores volumes da água sobre o meio ambiente diminuiu, contribuindo também com a menor dimensão da pegada hídrica brasileira.

4.2 A composição setorial da pegada hídrica nacional

A Tabela 8, apresenta a estrutura setorial da pegada hídrica brasileira de 2010 e 2015 em termos agregados. No período, observa-se redução no consumo de água virtual, de 22.342 hm³/ano para 22.012 hm³/ano, a um ritmo de crescimento médio de -0,30% a.a., influenciado, principalmente, pelos setores que compõem os agregados Agroindústria, Indústria e Serviços que reduziram seu consumo a uma taxa média de -3,27%, -2,88% e -1,53% ao ano, respectivamente.

Tabela 8: Pegada Hídrica dos agregados setoriais do Brasil de 2010 a 2015, em hm³/ano e percentuais

Agregados setoriais	Evolução da Pegada Hídrica Nacional (PHN)												Taxa de cresc. a.a.
	Ano 2010						Ano 2015*						
	Pegada interna (T)		Pegada importada (F)		Total (PHN = T + F)		Pegada interna (T)		Pegada importada (F)		Total (PHN = T + F)		
	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	
Agropecuária	13.880	68,0	619	32,1	14.499	64,9	14.363	72,1	692	32,8	15.054,1	68,4	0,75
Agroindústria	2.523	12,4	467	24,2	2.990	13,4	2057	10,3	481	22,9	2.538,8	11,5	-3,27
Indústria	750	3,7	514	26,7	1.264	5,7	593	3,0	502	23,8	1.094,8	5,0	-2,88
Serviços	3.260	16,0	329	17,0	3.589	16,1	2.894	14,5	430	20,4	3.324,4	15,1	-1,53
Total	20.413	100,0	1.929	100,0	22.342	100,0	19.907	100,0	2105	100,0	22.012,1	100,0	-0,30
PHN (%)	91,4%		8,6%		100,0%		90,4%		9,6%		100,0%		

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa e Montoya (2020) *.

Na estrutura da pegada hídrica brasileira, o agregado Agropecuária foi o único que aumentou o consumo de “água virtual” de 14.499 hm³ em 2010, para 15.054 hm³ em 2015, a uma taxa de crescimento de 0,75% a.a. A expansão do setor Agropecuária no consumo de água, aumentou sua importância relativa na pegada hídrica do país, passando de 64,9% para 68,4%, em detrimento dos setores que compõem os Serviços, a Agroindústria e Indústria que diminuíram sua participação, em 2015 para 15,1%, 11,5% e 5,0%, respectivamente. Assim sendo, na estrutura da pegada hídrica do país fica evidente a tendência para uma maior concentração setorial no consumo de “água virtual” em favor da Agropecuária.

A questão é: porque o consumo de água no país aumentou de 27.588 hm³/ano em 2010, para 30.554 hm³/ano em 2015 (Tabela 3) e na pegada hídrica nacional o consumo de “água virtual” diminuiu de 22.342 hm³/ano para 22.012 hm³/ano?

Levando em consideração que os recursos hídricos de origem nacional e de origem importada compõem a pegada hídrica nacional, verifica-se que sua menor dimensão se deve a diminuição da pegada interna de 20.413 hm³/ano em 2010, para 19.907 hm³/ano em 2015, influenciada principalmente pela redução do consumo de “água virtual” de origem nacional nos setores que compõem a Agroindústria, Indústria e Serviços. Embora a Agropecuária aumentou o consumo de “água virtual” nacional de 14.499 hm³/ano para 15.054 hm³/ano, assim como também houve aumento de 1.929 hm³/ano para 2.105 hm³/ano na pegada de água importada, esses fluxos não foram suficientes para compensar a queda da pegada hídrica nacional de 2010 para 2015. Deve-se considerar também que a pegada hídrica nacional não inclui em sua contabilidade a “água virtual” incorporada nos produtos exportados, o que explica também o maior consumo de água no país frente a redução de “água virtual” na pegada hídrica nacional. A respeito, o aumento do saldo exportador líquido de “água virtual”, de 5.246 hm³/ano em 2010, para 8.542 hm³/ano em 2015, dado pela diferença entre o consumo de água total e a pegada hídrica, corroboram a redução e desaceleração da pegada hídrica nacional.

Nesse contexto, na pegada hídrica do Brasil de 2010 e 2015, a pegada interna é responsável por 91,4% e 90,4%, respectivamente, evidenciando que a “água virtual” interna se constitui um componente substancial para atender ao consumo de bens e serviços finais do país. Embora a pegada hídrica externa represente no período somente 8,6% e 9,6% da pegada hídrica nacional, cabe salientar que em média 60,6% ou 1.214 hm³/ano da “água virtual” importada está destinada para o consumo intermediário e 39,8% ou 804 hm³/ano para o consumo na demanda final. Em vista disso, os fluxos indicam que a maior proporção da água importada é incorporada na forma de insumos nos processos de produção das diversas cadeias produtivas do país.

Com fins de uma análise setorial, a Figura 3 fornece uma visão panorâmica da pegada hídrica dos 33 setores da economia brasileira nos anos de 2010 e 2015, e a Tabelas 9 mostra informações detalhadas para cada setor. Em geral, se observa na Figura 3, uma pegada hídrica fortemente concentrada nos setores Agricultura e Pecuária, bem como no setor Água, esgoto e gestão de resíduos.

Nesse contexto, a pegada hídrica total do setor Agricultura, embora tenha diminuído de 9.802 hm³/ano em 2010, para 8.961 hm³/ano em 2015, evidencia que se trata do setor que mais pressiona o meio ambiente por recursos hídricos no país, em virtude de ter apresentado uma participação relativa de 43,9% e de 40,7% na pegada hídrica nacional. Seguido de longe pelo setor Pecuária, que no período aumentou de 4.102 hm³/ano (18,4%) para 5.416 hm³/ano (24,6%), e o setor Água, esgoto e gestão de resíduos, que diminuiu de 2.408 hm³/ano (10,8%) para 2.219 hm³/ano (10,1%). Em conjunto, a participação relativa dos três setores aumentou no período de 73,1% para 75,4% da pegada hídrica nacional, o que corrobora uma grande concentração setorial de “água virtual” na economia brasileira.

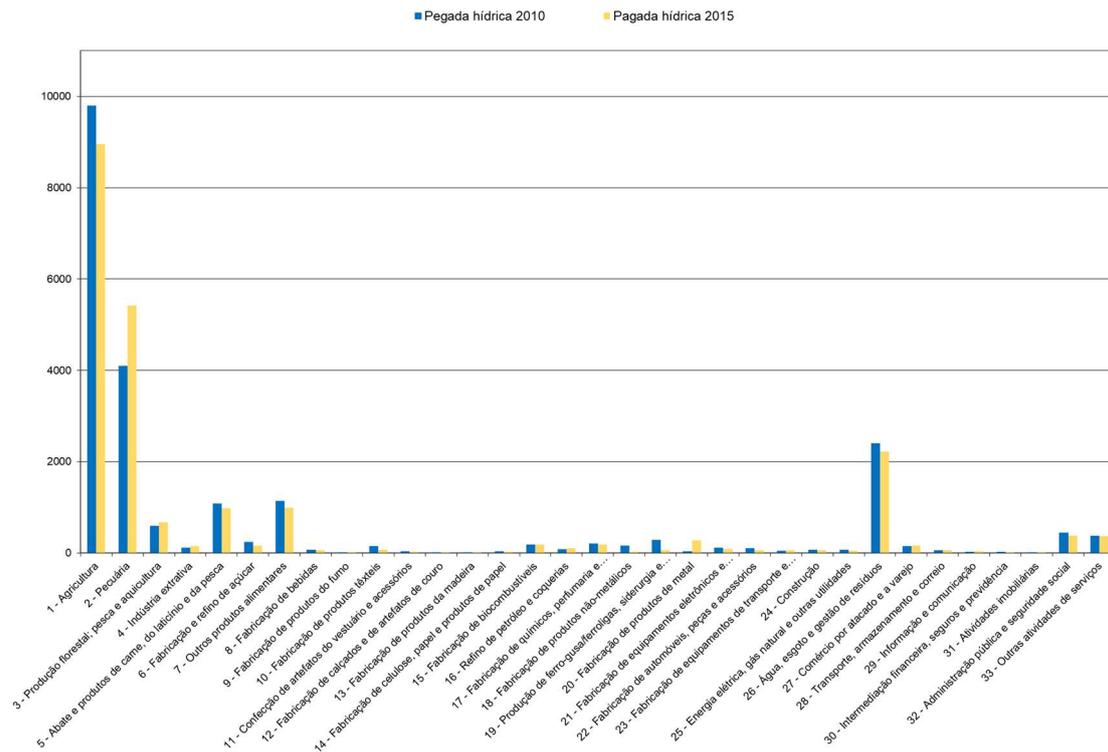


Figura 3: Panorama da pegada hídrica setorial na economia brasileira nos anos de 2010 e 2015, em hm³/ ano

Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados da pesquisa dos Tabela 9.

Em um patamar menor, os setores tais como: Outros produtos alimentares; Abate e produtos de carne, laticínio e da pesca; Produção florestal, pesca e aquicultura; Administração pública e seguridade social; Outras atividades de serviços; Fabricação de produtos de metal; Produção de ferro-gusa/ferro-ligas, siderurgia e fundição; também têm um consumo de “água virtual” relevante já que na pegada hídrica nacional respondem, em conjunto, por 18,3% ou 4.089 hm³/ano, em 2010, e por 17,2% ou 3.786 hm³/ano, em 2015. Cabe salientar que neste conjunto de setores a maioria reduziu o consumo de “água virtual” no período, com exceção do setor Produção florestal, pesca e aquicultura e do setor Fabricação de produtos de metal, que não somente aumentaram seu consumo, mas também aumentaram sua importância relativa na pegada nacional. Certamente, o menor nível de atividade produtiva observado no período, decorrente da recessão econômica que se instalou no país, desacelerou sensivelmente o consumo de “água virtual” na maioria dos setores produtivos da economia brasileira.

Com relação a composição setorial da pegada hídrica em termos de “água virtual” de origem doméstica (interna) e de origem importada (externa), dada a elevada concentração no consumo de “água virtual” na pegada hídrica nacional, os principais setores foram escolhidos por apresentar participação superior a 1% no consumo de “água virtual”. Sob este critério, na pegada hídrica nacional de 2010 se destacam dez setores e, em 2015, nove setores (Figura 4).

Tabela 9: Contabilidade ambiental da pegada hídrica na economia brasileira - ano de 2010 e 2015, em hm³/ano e percentuais

MIP ÁGUA 2010 e 2015 BR – Setor	Pegada hídrica nacional (PHN_j) de 2010 em hm ³ /ano						Pegada hídrica nacional (PHN_j) de 2015* em hm ³ /ano					
	(T_j)	(S_j^f)	(S_j^{in})	(F_j)	(PHN_j)	(ρ_j)	(T_j)	(S_j^f)	(S_j^{in})	(F_j)	(PHN_j)	(ρ_j)
1 - Agricultura	9.321	458	23	481	9.802	38,51	8.462	480	20	499	8.961	37,54
2 - Pecuária	4.003	76	23	99	4.102	27,00	5.271	118	27	145	5.416	36,79
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	556	21	18	39	594	10,74	629	35	13	47	677	10,40
4 - Indústria extrativa	113	5	5	10	124	1,40	143	7	9	16	159	1,71
5 - Abate e produtos de carne, do laticínio e da pesca	1.031	27	24	51	1.082	1,98	913	28	40	68	980	1,57
6 - Fabricação e refino de açúcar	238	5	1	6	244	3,35	155	5	1	5	160	4,15
7 - Outros produtos alimentares	856	28	257	285	1.141	2,03	686	29	276	306	991	1,87
8 - Fabricação de bebidas	55	2	20	22	77	0,41	44	2	18	20	65	0,41
9 - Fabricação de produtos do fumo	1	0	3	4	4	0,09	0	0	2	3	3	0,10
10 - Fabricação de produtos têxteis	103	9	37	46	149	1,61	51	8	19	28	79	1,42
11 - Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	5	0	30	30	35	0,14	4	1	26	26	30	0,15
12 - Fabricação de calçados e de artefatos de couro	5	0	8	8	13	0,11	3	0	7	8	10	0,11
13 - Fabricação de produtos da madeira	13	1	1	2	15	0,94	10	1	0	1	11	5,74
14 - Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	35	2	5	7	43	0,99	20	1	5	6	26	0,65
15 - Fabricação de biocombustíveis	181	5	2	6	187	2,84	172	6	5	11	183	2,98
16 - Refino de petróleo e coquerias	9	0	73	73	82	0,25	11	0	98	98	109	0,33
17 - Fabricação de químicos, perfumaria e farmacêuticos	102	15	90	105	207	0,57	70	13	108	121	191	0,62
18 - Fabricação de produtos não-metálicos	127	7	32	39	165	1,75	5	0	21	21	26	0,48
19 - Produção de ferro-gusa/ferro-ligas, siderurgia e fundição	257	30	7	36	294	10,90	56	7	2	9	66	5,31
20 - Fabricação de produtos de metal	22	2	20	22	44	0,38	235	25	15	40	275	3,75
21 - Fabricação de equipamentos eletrônicos e máquinas	29	8	79	87	116	0,14	17	6	63	69	86	0,13
22 - Fabricação de automóveis, peças e acessórios	48	6	55	62	110	0,12	18	3	37	41	58	0,12
23 - Fabricação de equipamentos de transporte e manutenção	19	2	30	32	51	0,13	23	4	32	36	58	0,18
24 - Construção	23	0	49	49	72	0,03	16	0	52	52	67	0,03
25 - Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	61	2	16	17	79	0,27	17	0	37	38	55	0,17
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	2.360	44	3	48	2.408	21,31	2.170	45	4	49	2.219	22,04
27 - Comércio por atacado e a varejo	97	2	50	53	149	0,06	94	3	73	76	170	0,06
28 - Transporte, armazenamento e correio	23	1	36	37	60	0,11	20	1	40	41	61	0,12
29 - Informação e comunicação	11	0	22	22	33	0,05	7	0	28	29	36	0,05
30 - Intermediação financeira, seguros e previdência	14	0	9	9	23	0,02	12	0	10	10	22	0,02
31 - Atividades imobiliárias	7	0	1	1	8	0,01	9	0	2	2	11	0,01
32 - Administração pública e seguridade social	412	0	32	32	444	0,09	337	0	48	49	385	0,08
33 - Outras atividades de serviços	275	8	101	109	384	0,13	228	9	128	137	365	0,12
TOTAL	20.413	768	1.161	1.929	22.342		19.907	839	1.266	2.105	22.012	

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa e Montoya (2020) *.

No período, os principais setores consumidores de “água virtual” da economia brasileira, em média, representam 90,8% da pegada hídrica nacional, 93,6% da pegada hídrica interna e 61,4% da pegada hídrica externa. Pode-se observar que a proporção da pegada hídrica interna dos setores em geral é alta, com destaque, nas atividades produtivas dos setores Agricultura, Pecuária, Florestas e setor Água, esgoto e gestão de resíduos, que em conjunto concentram 75,8% e 78,5% da pegada hídrica nacional de 2010 e 2015, respectivamente. Na pegada hídrica setorial do ano de 2015, por exemplo, a proporção da pegada hídrica interna da Agricultura é de 94,4% (8.462 hm³/ano), da Pecuária é de 97,3% (5.271 hm³/ano), da Produção florestal é de 93,0% (629 hm³/ano) e da Água, esgoto e gestão de resíduos é de 97,8% (2.170 hm³/ano). Portanto, a “água virtual” interna nesses setores é um insumo substancial incorporado nos bens e serviços finais consumidos no país.

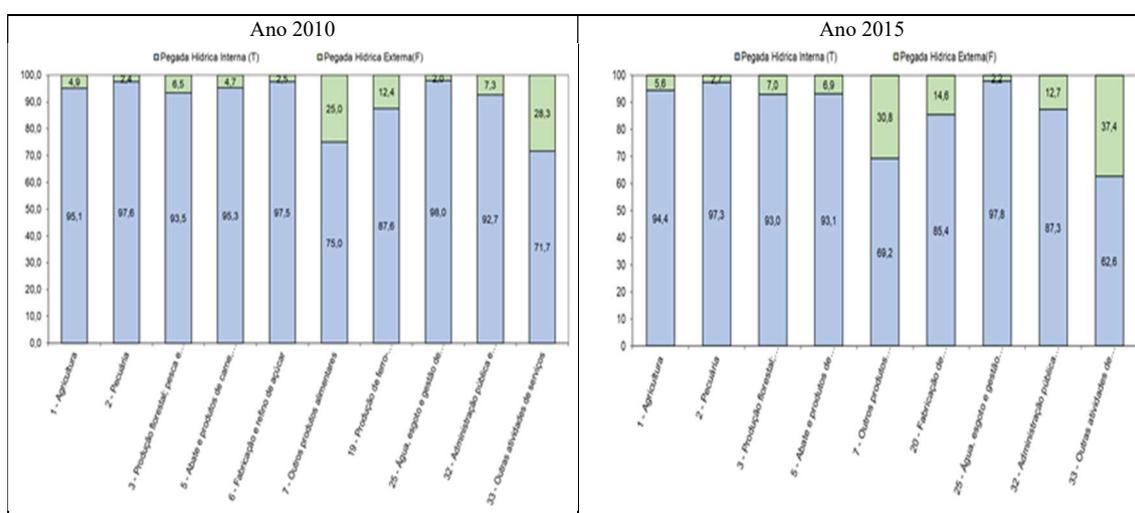


Figura 4: Composição da pegada hídrica dos principais setores consumidores de água virtual da economia brasileira no ano de 2010 e 2015, em percentual

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa da Tabela 9.

Já no setor Outras atividades de serviços, a proporção de pegada hídrica externa é relevante, em 2010 foi de 28,3% (109 hm³/ano) e aumentou para com 37,4% (137 hm³/ano), em 2015. Considerando que esse setor contém as atividades de alojamento, de alimentação, de serviços domésticos, de educação e de saúde privada, a proporção hídrica externa sugere que a água importada está incorporada nos serviços de hotelaria, alimentos processados, bem como nos serviços pessoais de educação e de saúde. Para o setor Outros produtos alimentares, a pegada hídrica externa também aumentou no período, de 25,0% (285 hm³/ano) para 30,8% (306 hm³/ano), indicando que a “água virtual” importada é incorporada de forma significativa na produção de alimentos processados. Essa evidência também corrobora, em parte, a elevada pegada hídrica externa do setor Outras atividades de serviços.

Embora grande parte dos setores da indústria e dos serviços não tenha relevância na participação da pegada hídrica nacional, a proporção da pegada hídrica externa na composição da pegada hídrica setorial é significativa e aumentou no período. Dentre eles se destacam, o setor Refino de petróleo e coquearias (de 88,9% para 90,1%), o setor Confecção de artefatos do vestuário e acessórios (de 85,8% para 88,2%), o setor

Fabricação de produtos do fumo (de 82,2% para 87,1%), o setor Informação e comunicação (de 66,9% para 80,1%), o setor Fabricação de automóveis, peças e acessórios (de 56,2% para 69,6%) e o setor Construção (de 67,6% para 76,6%) (Tabelas 7 e 8). Assim, se o objetivo for poupar “água virtual” interna, esses setores deveriam ser levados em consideração para esse tipo de políticas.

4.3 A intensidade setorial na pegada hídrica nacional

O índice de intensidade da pegada hídrica (ρ_j) permite avaliar no sistema econômico, a distribuição setorial do consumo de “água virtual” por unidade monetária da demanda final doméstica. Os resultados listados nas Tabelas 9 indicam que, dos 33 setores da economia brasileira, em 2010, doze setores apresentam índices maiores do que um, e em 2015 quatorze setores, ou seja, setores com intensidade no consumo de água acima da média nacional. Dentre eles, quatro padrões distintos emergem no período: **a)** setores como a Agricultura e a Pecuária, que incorporam grandes volumes de água por unidade produzida, que variam de 27 a 37,54 vezes mais do que a média nacional; **b)** os setores Água, esgoto e gestão de resíduos, e Produção florestal, pesca e aquicultura, que incorporam de 10,40 a 22,04 vezes mais que a média do país; **c)** setores que, em média, incorporam de 3,35 a 5,31 vezes a média do país, tais como, Produção de ferros, siderurgia e fundição, Fabricação de produtos da madeira e Fabricação e refino de açúcar; **d)** setores que seu consumo de água virtual se localizam, em torno de 1,42 a 2,84 vezes, um pouco acima da média nacional, como os setores Fabricação de biocombustíveis, Outros produtos alimentares, Indústrias extrativas, Abate e produtos de carne e Fabricação de produtos têxteis.

No outro extremo, localizam-se os setores menos intensivos no consumo de “água virtual” por unidade produzida para a demanda final doméstica. Dentre os 22 setores que compõem a indústria nacional, destacam-se 13 setores em 2010 e 12 setores em 2015 e, dentre os nove setores que compõem os serviços, destacam-se oito setores no período. Desse modo, em termos relativos se verifica que os setores de serviços, pela natureza de seus processos produtivos, em sua grande maioria são menos intensivos no consumo de “água virtual”.

Finalmente, cabe manifestar que a evolução setorial do PIB, do consumo de água, dos requerimentos de “água virtual” e da pegada hídrica, evidencia a interação e os detalhes dos fluxos de água entre a economia e o meio ambiente. Elas revelam na pegada hídrica brasileira, a natureza dos processos produtivos e a intensidade no consumo de água, pois indicam os setores que se diferenciam por consumir grandes volumes de água, bem como por obter mudanças tecnológicas eficientes direcionadas para incorporar menor volume de “água virtual” por unidade produzida.

5 Considerações Finais

Este artigo, teve como objetivo mensurar, na trajetória do crescimento econômico do Brasil, a evolução do consumo de água, as mudanças tecnológicas nos requerimentos de “água virtual” e a pegada hídrica nacional. Com esses fins, foi construído um modelo insumo-produto ecológico que incorpora o consumo setorial de água para os anos de 2010 e 2015.

Verificou-se que o consumo de água no Brasil aumentou de 27.588 hm³/ano para 30.554 hm³/ano e sua distribuição setorial se tornou mais concentrada em favor dos setores do agregado Agropecuária. A trajetória comparativa das taxas de crescimento do PIB e do consumo de água, evidenciam que estão fortemente relacionados já que 63% dos setores apresentam a mesma direção.

Com base nos requerimentos de “água virtual”, verificou-se no setor Água, esgoto e gestão de resíduos, os maiores ganhos de eficiência tecnológica, com redução de 40.198 m³/R\$ de “água virtual” por unidade produzida. Embora no Brasil, os serviços de saneamento básico não atendem a toda a população, os resultados evidenciam melhoras significativas no consumo de “água virtual”. Assim sendo, possibilidades de maiores investimentos no setor que ampliem os serviços de saneamento para toda a população poderão aumentar ainda mais a eficiência no consumo de água.

Os requerimentos de “água virtual”, destacaram também o setor Agricultura por apresentar mudanças tecnológicas significativas que lhe permitiram uma redução líquida de 5.599 m³/R\$ de água por cada milhão de reais na demanda final. Estes ganhos de eficiência estão associados, ao desenvolvimento da agricultura brasileira que criou cultivares com maior rendimento, ciclo mais curto de produção e, sobretudo, plantas com menor estatura que permitiram incorporar a cada safra menos volumes de “água virtual”. Fato da maior relevância para a preservação e mitigação do meio ambiente já que a cada ano a produção da agricultura brasileira aumenta, acompanhada de uma redução significativa de “água virtual”.

Em geral, considerando que os ganhos de eficiência tecnológica ocorreram em setores que concentram, em torno de 70% o consumo de água no Brasil, um eventual aumento na demanda final, aumentará o consumo de “água virtual” de forma mais qualificada já que está associado a processos produtivos que otimizam os recursos hídricos.

Quanto à pegada hídrica nacional, verificou-se que houve redução no consumo de “água virtual”, passando de 22.342 hm³/ano em 2010, para 22.012 hm³/ano em 2015. Em decorrência, na dimensão social, o consumo per-capita de “água virtual” diminuiu no período de 117,14 m³/ano para 107,66 m³/ano, e na dimensão econômica, a relação litros de “água virtual” consumidos por cada real gerado, reduziu de 4,64 litros/R\$ para 4,27 litros/R\$, indicando, ganhos de eficiência tecnológica nos processos produtivos. Assim, a pressão por maiores volumes da água sobre o meio ambiente diminuiu, contribuindo também com a menor dimensão da pegada hídrica brasileira.

Na composição da pegada hídrica nacional de 2010 e 2015, verificou-se que a pegada interna responde por 91,4% e 90,4%, assinalando que a “água virtual” interna se constitui um componente substancial para atender ao consumo de bens e serviços finais do país. Embora a pegada hídrica externa represente no período somente 8,6% e 9,6% da pegada hídrica nacional, cabe salientar que em média 60,6% da “água virtual” importada está destinada para o consumo intermediário e 39,8% para o consumo na demanda final.

Em nível setorial, a pegada hídrica é fortemente concentrada nos setores Agricultura e Pecuária, bem como no setor Água, esgoto e gestão de resíduos. Assim sendo, o índice de intensidade indica, nestes setores, que o consumo de “água virtual” por unidade monetária da demanda final doméstica, varia de 10,40 a 37,54 vezes mais do que

a média nacional. Se considerarmos que grande parte dos produtos da agropecuária são exportados, o fato de seus produtos incorporar grande quantidade de água virtual, permite inferir que o Brasil é um grande fornecedor de recursos hídricos no mercado internacional.

Por fim, ficou evidente que as atividades econômicas influenciam permanentemente o consumo de água virtual do país, revelando a interação e os detalhes dos fluxos de água entre a economia e o meio ambiente. Certamente, futuros estudos que avaliem no mercado internacional as exportações brasileiras de “água virtual”, permitirão entender, sua relevância para aliviar a escassez de água nas diferentes regiões do planeta, bem como, à contribuição que vem dando para o bem-estar mundial.

Referências

- ALLAN, J. A. Virtual water: a strategic resource. **Ground Water**, v. 36, n. 4, p. 545, 1998.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Contas econômicas ambientais da água no Brasil 2013–2015**. Brasília: Agência Nacional de Águas, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental, 2018. Disponível em https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-spr/contas_economicas.pdf. Acesso em: 2 abr. 2019.
- ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 75 p., 2019. Disponível em http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=134951&tipo_midia=2&iIndexSrv. Acesso em: 10 jan. 2020.
- BRAGA, F.L.P., OLIVEIRA, A.C.S. A Influência da Taxa de Câmbio e Renda Mundial Sobre as Exportações Brasileiras de Soja (2000-2015). *Rev. Econ. e Sociol. Rural* 56, 663–680, 2018. <https://doi.org/10.1590/1234-56781806-94790560407>
- CARRER, M.J., DE SOUZA FILHO, H.M., BATALHA, M.O. Factors influencing the adoption of Farm Management Information Systems (FMIS) by Brazilian citrus farmers. *Comput. Electron. Agric.* 138, 11–19, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.004>
- DIETZENBACHER, E.; VELAZQUEZ, E. Analyzing Andalusian virtual water trade in an input–output framework. **Regional Studies**, v. 41, n. 2, p. 185-196, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343400600929077>
- FLOSS, E. L. **Produção de alimentos “a nobre missão da agricultura”**. (no prelo). Passo Fundo, 2020.
- HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, n. 21, p. 35-48, 2007.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Nacionais n. 60**. Contas Econômicas Ambientais da Água de 2013-2015- CEAA. Rio de Janeiro: IBGE, 2018a.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Nacionais n. 62**. Matriz de Insumo Produto 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2018b.

- LEONTIEF, W. The structure of the american economy. 2. ed. ampliada. New York: Oxford University Press, 1951.
- MONTOYA, M. A. **Análise insumo-produto internacional no Mercosul: desenvolvimento econômico e interdependência estrutural**. Passo Fundo: EDIUPF, 208 p., 1999. Disponível em <http://editora.upf.br/index.php/e-books-topo/42-economia-area-do-conhecimento/84-analise-insumo-produto>. Acesso em: 8 fev. 2020.
- MONTOYA, M. A. A pegada hídrica da economia brasileira e a balança comercial de água virtual: uma análise insumo-produto. *Economia Aplicada*, 24, 215–248. 2020. <https://doi.org/https://doi.org/10.11606/1980-5330/ea167721>
- MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. F. A. As relações intersetoriais dos recursos hídricos na economia brasileira **Texto para discussão**, n. 11, 2019a. Disponível em <https://www.upf.br/uploads/Conteudo/cepeac/textos-discussao/11-2019.pdf> Acesso em: 8 set. 2019.
- MONTOYA, M. A.; FINAMORE, E. F. A. Os recursos hídricos no agronegócio brasileiro: uma análise insumo-produto do uso, consumo, eficiência e intensidade. **Texto para discussão**, n. 10, 2019b. Disponível em <https://www.upf.br/uploads/Conteudo/cepeac/textos-discussao/10-2019.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2019.
- MONTOYA, M. A.; LOPES, R. L.; GUILHOTO, J. J. M. Desagregação setorial do balanço energético nacional a partir dos dados da Matriz Insumo-Produto: uma avaliação metodológica. *Economia Aplicada*, Ribeirão Preto, v. 18, n. 3, p. 379-419, 2014.
- MONTOYA, M. A.; PASQUAL, C. A. O uso setorial de energia renovável *versus* não renovável e as emissões de CO₂ na economia brasileira: um modelo insumo-produto híbrido para 53 setores. **Pesquisa e Planejamento Econômico – PPE**, Rio de Janeiro, v. 45, n. 2, p. 288-335, ago. 2015.
- OES. Organização e Sistemas. Cinco consequenciais da falta de saneamento básico. **Blog, Saneamento Básico**. 2019. Disponível em <https://www.eosconsultores.com.br/5-consequencias-da-falta-de-saneamento-basico/> Acesso em: 26 jun. 2020.
- PICOLI, I. T. Pegada hídrica da economia brasileira: uma análise de insumo-produto. 2016. 129 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) - Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- PIVOTO, D., BARHAM, B., WAQUIL, P.D., FOGUESATTO, C.R., CORTE, V.F.D., ZHANG, D., TALAMINI, E. Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. *Int. Food Agribus. Manag. Rev.* 22, 571–588, 2019. <https://doi.org/10.22434/IFAMR2018.0086>
- PIVOTO, D., WAQUIL, P.D., TALAMINI, E., FINOCCHIO, C.P.S., DALLA CORTE, V.F., DE VARGAS MORES, G. Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. *Inf. Process. Agric.* 5, 21–32, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>
- ROUND, J. Nonsurvey techniques: a critical review of the theory an the evidence. *International Regional Science Review*, v. 8, n. 3, p.189-212, 1983.

- USSAMI, K. A.; GUILHOT O, J. J. M. Economic and water dependence among regions: The case of Alto Tiete, Sao Paulo State, Brazil. *Economia*, v. 19, n. 3, p. 350-376, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.econ.2018.06.001>
- VISENTIN, J. C.; GUILHOTO, J. J. M. The Role of Interregional Trade in Virtual Water on the Blue Water Footprint and the Water Exploitation Index in Brazil. *The Review of Regional Studies*, v. 49, n. 2, p. 299-322, 2019.
- WIEDMANN, T.; LENZEN, M.; TURNER, K.; BARRETT, J. Examining the global environmental impact of regional consumption activities - Part 2: review of input-output models for the assessment of environmental impacts embodied in trade. **Ecological Economics**, v. 61, p. 15-26, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.12.003>
- ZHANG, Z.; YANG, H.; SHI, M. Analyses of water footprint of Beijing in an interregional input-output framework. **Ecological Economics**, v. 70, p. 2494-2502, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.011>
- ZHAO, X.; CHEN B.; YANG Z. F. National water footprint in an input-output framework: a case study of China 2002. **Ecological Modelling**, v. 220, p. 245-253, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.09.016>
- ZHAO, X.; CHEN B.; YANG Z. F. National water footprint in an input-output framework: a case study of China 2002. *Ecological Modelling*, v. 220, p. 245-253, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.09.016>
- ZHI, Y.; YANG, Z. F.; YIN, X. A. Decomposition analysis of water footprint changes in a water-limited river basin: a case study of the Haihe River basin, China. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 18, p. 1549-1559, 2014. DOI: [10.5194/hess-18-1549-2014](https://doi.org/10.5194/hess-18-1549-2014)
- ZHI, Y.; YANG, Z. F.; YIN, X. A. Decomposition analysis of water footprint changes in a water-limited river basin: a case study of the Haihe River basin, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 18, p. 1549-1559, 2014. DOI: [10.5194/hess-18-1549-2014](https://doi.org/10.5194/hess-18-1549-2014).

Anexo 1: Recursos e usos físicos da água na economia brasileira - 2010 (hm³/ano)

Fluxos	Recursos e usos (hm³/ano)	Atividades econômicas						Total das atividades (7)	Famílias (8)	Total (9)
		Agro. (1)	Ind. Extrativa (2)	Ind. Trans. e construção (3)	Eletricidade e gás (4)	Água e esgoto (5)	Demais atividades (6)			
Do meio ambiente	1. Retirada total.	28.527	864	7.039	2.748.931	50.273		2.835.635	917	2.836.552
Dentro da economia	2. Uso de água proveniente de outras atividades econômicas.	982	6	315	7	7.108	2.191	10.609	8.045	18.655
	3. Uso total da água (1+2).	29.509	871	7.354	2.748.938	57.381	2.191	2.846.244	8.962	2.855.207
Dentro da economia	4. Suprimento para outras atividades econômicas.	1	4	181	4	11.546	1.316	13.050	5.604	18.654
Retorno para o meio ambiente	5. Retorno total.	9.783	633	3.010	2.748.866	43.314		2.805.606	2.641	2.808.247
Retorno para o meio ambiente	6. Total fornecido (4+5).	9.784	636	3.191	2.748.870	54.860	1.316	2.818.656	8.245	2.826.901
	7. Consumo total (3-6).	19.725	235	4.163	68	2.521	875	27.588	717	28.306

Fonte: Dados da pesquisa.

Anexo 2: Recursos e usos físicos da água na economia brasileira - 2015 (hm³/ano)

Fluxos	Recursos e usos (hm³/ano)	Atividades econômicas						Total das atividades (7)	Famílias (8)	Total (9)
		Agro. (1)	Ind. Extrativa (2)	Ind. Trans. e construção (3)	Eletricidade e gás (4)	Água e esgoto (5)	Demais atividades (6)			
Do meio ambiente	1. Retirada total.	32.505	1.037	6.112	3.114.293	47.085		3.201.032	699	3.201.731.
Dentro da economia	2. Uso de água proveniente de outras atividades econômicas.	1.138	7	277	7	6.914	2.045	10.389	7.387	17.775
	3. Uso total da água (1+2).	33.643	1.044	6.389	3.114.300	53.999	2.045	3.211.421	8.086	3.219.507
Dentro da economia	4. Suprimento para outras atividades econômicas.	0	4	171	4	10.862	1.298	12.340	5.436	17.776
Retorno para o meio ambiente	5. Retorno total.	9.938	758	2.768	3.114.195	40.868		3.168.527	2.604	3.171.131
Retorno para o meio ambiente	6. Total fornecido (4+5).	9.939	762	2.939	3.114.199	51.730	1.298	3.180.867	8.040	3.188.907
	7. Consumo total (3-6).	23.704	282	3.450	101	2.270	748	30.554	46	30.600

Fonte: IBGE, Ministério do Meio Ambiente, ANA (2018).

Anexo 3: O PIB setorial na economia brasileira de 2010 a 2015, em milhões de reais de 2015 e percentuais

SETORES	2010		2015		Taxa de crescimento a.a. %
	milhões de R\$	%	milhões de R\$	%	
1 - Agricultura	145.872	3,0	163.127	3,2	2,24
2 - Pecuária	65.370	1,4	71.449	1,4	1,78
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	21.795	0,5	24.391	0,5	2,25
4 - Indústria extrativa	160.230	3,3	110.769	2,1	-7,38
5 - Abate e produtos de carne, do laticínio e da pesca	30.379	0,6	40.377	0,8	5,69
6 - Fabricação e refino de açúcar	13.908	0,3	7.388	0,1	-12,65
7 - Outros produtos alimentares	40.048	0,8	48.541	0,9	3,85
8 - Fabricação de bebidas	25.097	0,5	22.923	0,4	-1,81
9 - Fabricação de produtos do fumo	5.238	0,1	4.258	0,1	-4,14
10 - Fabricação de produtos têxteis	15.955	0,3	13.375	0,3	-3,53
11 - Confeção de artefatos do vestuário e acessórios	32.096	0,7	24.929	0,5	-5,05
12 - Fabricação de calçados e de artefatos de couro	15.377	0,3	13.536	0,3	-2,55
13 - Fabricação de produtos da madeira	12.438	0,3	9.840	0,2	-4,69
14 - Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	22.343	0,5	22.787	0,4	0,39
15 - Fabricação de biocombustíveis	7.825	0,2	8.680	0,2	2,07
16 - Refino de petróleo e coqueiras	23.793	0,5	36.427	0,7	8,52
17 - Fabricação de químicos, perfumaria e farmacêuticos	73.030	1,5	72.078	1,4	-0,26
18 - Fabricação de produtos não-metálicos	63.632	1,3	53.827	1,0	-3,35
19 - Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e fundição	35.262	0,7	34.302	0,7	-0,55
20 - Fabricação de produtos de metal	42.840	0,9	34.302	0,7	-4,45
21 - Fabricação de equipamentos eletrônicos e máquinas	86.703	1,8	68.395	1,3	-4,74
22 - Fabricação de automóveis, peças e acessórios	90.436	1,9	40.826	0,8	-15,91
23 - Fabricação de equipamentos de transporte e manutenção	72.966	1,5	65.626	1,3	-2,12
24 - Construção	100.348	2,1	85.454	1,7	-3,21
25 - Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	35.037	0,7	37.718	0,7	1,47
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	301.513	6,3	296.018	5,7	-0,37
27 - Comércio por atacado e a varejo	606.487	12,6	685.715	13,3	2,46
28 - Transporte, armazenamento e correio	206.413	4,3	226.501	4,4	1,86
29 - Informação e comunicação	195.339	4,1	184.400	3,6	-1,15
30 - Intermediação financeira, seguros e previdência	327.208	6,8	365.277	7,1	2,20
31 - Atividades imobiliárias	399.857	8,3	498.884	9,7	4,43
32 - Administração pública e seguridade social	783.694	16,3	885.587	17,2	2,44
33 - Outras atividades de serviços	754.039	15,7	897.894	17,4	3,49
TOTAL	4.812.569	100,0	5.155.601	100,0	1,38

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

Anexo 4: O consumo setorial de água na economia brasileira de 2010 a 2015, em hm³ e percentuais

SETORES	2010		2015*		Taxa de crescimento a.a. %
	hm ³	%	hm ³	%	
1 - Agricultura	14.233	51,6	16.278	53,3	2,69
2 - Pecuária	4.833	17,5	6.630	21,7	6,32
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	659	2,4	795	2,6	3,76
4 - Indústria extrativa	235	0,9	282	0,9	3,66
5 - Abate e produtos de carne, do laticínio e da pesca	1.296	4,7	1.201	3,9	-1,52
6 - Fabricação e refino de açúcar	482	1,7	322	1,1	-8,07
7 - Outros produtos alimentares	1.033	3,7	880	2,9	-3,20
8 - Fabricação de bebidas	59	0,2	49	0,2	-3,70
9 - Fabricação de produtos do fumo	1	0,0	1	0,0	-10,44
10 - Fabricação de produtos têxteis	116	0,4	60	0,2	-13,18
11 - Confeção de artefatos do vestuário e acessórios	5	0,0	4	0,0	-6,67
12 - Fabricação de calçados e de artefatos de couro	6	0,0	4	0,0	-7,56
13 - Fabricação de produtos da madeira	18	0,1	17	0,1	-1,71
14 - Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	53	0,2	36	0,1	-7,89
15 - Fabricação de biocombustíveis	237	0,9	230	0,8	-0,55
16 - Refino de petróleo e coqueiras	11	0,0	13	0,0	3,70
17 - Fabricação de químicos, perfumaria e farmacêuticos	133	0,5	107	0,3	-4,41
18 - Fabricação de produtos não-metálicos	149	0,5	119	0,4	-4,45
19 - Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e fundição	396	1,4	295	1,0	-5,90
20 - Fabricação de produtos de metal	26	0,1	21	0,1	-4,79
21 - Fabricação de equipamentos eletrônicos e máquinas	34	0,1	23	0,1	-7,38
22 - Fabricação de automóveis, peças e acessórios	57	0,2	30	0,1	-12,58
23 - Fabricação de equipamentos de transporte e manutenção	23	0,1	19	0,1	-4,07
24 - Construção	24	0,1	16	0,1	-7,80
25 - Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	68	0,2	101	0,3	7,87
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	2.521	9,1	2.270	7,4	-2,10
27 - Comércio por atacado e a varejo	105	0,4	104	0,3	-0,13
28 - Transporte, armazenamento e correio	27	0,1	25	0,1	-2,03
29 - Informação e comunicação	12	0,0	8	0,0	-8,36
30 - Intermediação financeira, seguros e previdência	15	0,1	13	0,0	-2,21
31 - Atividades imobiliárias	7	0,0	9	0,0	4,17
32 - Administração pública e seguridade social	413	1,5	338	1,1	-4,01
33 - Outras atividades de serviços	300	1,1	253	0,8	-3,41
TOTAL	27.588	100,0	30.554	100,0	2,04

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Montoya (2020) * e dados da pesquisa.