

A PEGADA HÍDRICA DA ECONOMIA BRASILEIRA E A BALANÇA COMERCIAL DE ÁGUA VIRTUAL: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

MARCO ANTONIO MONTOYA *

Resumo

O artigo avalia, com base na construção de um modelo insumo-produto ecológico, a pegada hídrica nacional e a balança comercial de água virtual no Brasil para o ano 2015. Verificou-se que a pegada hídrica do país alcança 22.012 hm³/ano de água virtual, o que equivale a um consumo per-capita de 107,66 m³/ano ou 294,97 litros/dia. Na balança comercial, verificou-se, em função dos setores da agropecuária e da agroindústria, um saldo exportador líquido de 8.542 hm³/ano de água virtual que abastece a cada ano 79,33 milhões de habitantes no mundo. Contudo, frente à escassez de água global, para proteger o meio ambiente de forma sustentável, é necessário criar um mercado formal de água virtual.

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

Abstract

The article evaluates, based on the construction of an ecological input-output model, the national water footprint and the virtual commercial water balance in Brazil for 2015. It was found that the country's water footprint reaches 22,012 hm³/year of water virtual, which is equivalent to a per capita consumption of 107.66 m³/year or 294.97 liters/day. In the trade balance, there was a net export balance of 8,542 hm³/year of virtual water, which supplies 79.33 million inhabitants worldwide each year, depending on the agricultural and agribusiness sectors. However, in the face of global water scarcity, in order to protect the environment in a sustainable way, it is necessary to create a formal virtual water market.

Keywords: input-output, water footprint, sectoral production, environment.

JEL classification: C67, Q25, E23, Q50.

DOI: <http://dx.doi.org/10.11606/1980-5330/ea167721>

* 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.

1 Introdução

O Brasil, ao longo dos últimos 50 anos, vem pressionando o meio ambiente por maiores recursos hídricos devido ao crescimento econômico, que lhe deu o status da oitava economia mundial, bem como ao aumento da população que duplicou, passando de 93,1 milhões em 1970 para 201,1 milhões de habitantes em 2020.

Embora a água seja um recurso abundante no país, já que possui as maiores reservas de água doce (12%) do planeta, na economia brasileira, ela é tratada como um recurso escasso. Para entender o problema, é preciso considerar que essas reservas estão desigualmente distribuídas geográfica e demograficamente. Enquanto a região Norte apresenta a maior concentração de água em virtude da localização da Bacia do Rio Amazonas e o Aquífero Alter do Chão, a grande parte da população brasileira concentra-se nas regiões Sudeste e Nordeste, que, historicamente, sofrem de secas e escassez de água (PENA 2018).

Para atender à crescente demanda de água e corrigir a distribuição natural das chuvas e dos rios, diversas obras de engenharia foram implementadas no país. Ao longo do território, 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. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2016), irrigam uma área de 1,275 milhão de hectares e coloca o Brasil entre os dez países com maior área irrigada no planeta.

Nesse panorama que intensifica a necessidade cada vez maior de recursos hídricos para atender ao crescimento econômico e populacional brasileiro, questiona-se: Quanta água é consumida na produção de bens e serviços finais do país? Responder a essa pergunta não é trivial, já que o consumo ocorre de duas maneiras: de forma direta, quando alguém abre a torneira para realizar atividades cotidianas domésticas; e de forma indireta, por intermédio da aquisição de bens de consumo, como carros, roupas, material de limpeza, produtos alimentícios, etc. O problema do consumo indireto de água é que ela passa despercebida pelas pessoas por ser “invisível”; assim, ignoram-se as enormes quantidades de água embutidas nos processos de produção de bens e serviços finais consumidos no país. Para avaliar a quantidade de água consumida no sistema econômico é necessária, portanto, uma categoria de análise que integre o consumo direto e indireto de água, tal como o faz a Pegada Hídrica Nacional ao mensurar a água virtual, em outras palavras, o consumo de água incorporada ao longo dos processos de produção dos bens e serviços finais.

Deve-se levar em conta também que o Brasil, no mercado internacional, é considerado como um grande fornecedor de alimentos; assim, em função do consumo indireto de água na produção, pode-se inferir que, por meio de suas exportações, também é um grande fornecedor de água para a economia mundial. Fato que também deve ser avaliado na balança comercial para ter a verdadeira dimensão do consumo de água no país.

Nesse contexto e no âmbito da contabilidade ambiental, este artigo tem como objetivo mensurar, na estrutura da economia brasileira, a pegada hídrica nacional, com fins de estabelecer a quantidade de água incorporada ou consumida na produção de bens e serviços finais, bem como avaliar, no mercado internacional, o saldo da balança comercial de água virtual do país. Com

esses fins, utiliza-se um modelo insumo-produto ecológico que incorpora o consumo setorial de água para o ano de 2015. Espera-se, com esta pesquisa, em um primeiro momento, compreender melhor as interações das atividades econômicas do país com os fluxos de água, gerar informações acerca da inserção internacional do Brasil na escassez global de água, bem como fornecer 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, é feita uma breve discussão sobre a noção conceitual da pegada hídrica nacional e os enfoques metodológicos adotados para sua avaliação; na seção 3, apresentam-se a estrutura matemática do método de mensuração da pegada hídrica bem como a base de dados utilizada; na seção 4, avaliam-se o consumo setorial de água no país e a água embutida nos produtos do país denominada como água virtual; na seção 5, investigam-se, na estrutura da economia brasileira, a dimensão da pegada hídrica nacional e a balança comercial da água virtual; na última seção, são apresentadas as principais conclusões obtidas no decorrer da análise.

2 Revisão bibliográfica

A seguir, são apresentadas noções conceituais sobre a pegada hídrica nacional e a abrangência dos enfoques metodológicos que mensuram a água virtual. Para isso, apresentam-se alguns aspectos inerentes à diferença entre o uso e o consumo de água, a pegada hídrica como categoria de análise ambiental, bem como a abrangência dos modelos insumo-produto ecológicos para avaliar a água virtual incorporada nos bens e nos serviços finais do país.

2.1 Diferença substancial entre o uso e o consumo de água

Nas atividades econômicas, os recursos hídricos contribuem permanentemente com o crescimento econômico do país, na medida em que a água é utilizada para o consumo humano e animal, produção de alimentos, como insumo de processos produtivos da indústria, bem como é usada na geração de energia elétrica, navegação, lazer, ou como local para descarte e diluição de afluentes domésticos e industriais. No sistema econômico, segundo a Agência Nacional de Águas - ANA. Agência Nacional de Águas (2018), **o uso total da água** considera toda a água retirada do meio ambiente e das atividades econômicas para ser utilizada pelos setores produtivos e pelas famílias. Já **o consumo total** de água constitui a parcela da água retirada para uso que não retorna ao ambiente, pois, durante o uso, foi incorporada nos produtos e consumida pelas famílias ou rebanhos.

Nesse contexto, com base no Anexo Apêndice A, observa-se que o uso total de água na economia brasileira alcança $3.219.507 \text{ hm}^3$ ao ano. Esse volume representa o total de água retirada do meio ambiente ($3.201.731 \text{ hm}^3$), mais as águas que são provenientes de outras atividades econômicas (17.775 hm^3). Chama atenção que, do total de água utilizada no país, em sua grande maioria, $3.188.907 \text{ hm}^3$, ou 99,05%, retornou ao meio ambiente ($3.171.131 \text{ hm}^3$) e às próprias atividades produtivas (17.776 hm^3); e apenas 30.600 hm^3 , ou 0,95%, foram consumidas pelas atividades econômicas (30.554 hm^3) e pelas famílias (46 hm^3). A esse respeito, cabe salientar que, na literatura internacional e em

sites de informação, confunde-se o uso da água com o consumo de água, o que superestima a real dimensão do consumo per-capita de água nos países.

2.2 Pegada hídrica nacional e água virtual

Em analogia à pegada ecológica, como medida da apropriação humana das áreas biologicamente produtivas, HOEKSTRA & HUNG (2002) introduziram o conceito de **pegada hídrica nacional** (PHN) como um indicador do volume total de água doce consumida ou incorporada no processo de produção de bens e serviços finais de um país. Note-se que, devido à inerente interdependência setorial do sistema econômico, ao calcular nos processos produtivos o volume de água que é incorporada ou embutida nos produtos e nos serviços finais, a pegada hídrica leva em consideração os impactos diretos e indiretos do consumo de água no meio ambiente. Em virtude disso, a pegada hídrica de um indivíduo, família, comunidade ou país pode ser estimada multiplicando-se todos os bens e serviços finais consumidos por seus respectivos volumes de água incorporados ou consumidos.

Considerando que muitos dos produtos finais são consumidos no mercado doméstico e outros no mercado internacional, ALLAN (1998), ao avaliar as commodities agrícolas, introduz o conceito de **água virtual** como o volume de água incorporada nos produtos comercializados no mercado internacional. Ele se refere à apropriação dos recursos hídricos de outros países no processo de exportação e importação de bens e serviços (CHAPAGAIN & HOEKSTRA 2007, OEL & HOEKSTRA 2012).

Em função dessa definição conceitual, ao estimar o volume de água incorporada, existe uma relação complementar entre a **pegada hídrica** e o conceito de água virtual, razão pela qual, na literatura, a pegada hídrica também é definida como o volume de “água virtual” ou “água incorporada” nos bens e serviços finais consumidos pelos indivíduos e pelas nações (ver HOEKSTRA (2009); BLENINGER & KOTSUKA (2015)).

A pegada hídrica e a água virtual constituem, portanto, categorias de análise do desenvolvimento sustentável para avaliar a gestão dos recursos híbridos escassos, bem como sua desigual distribuição nos diversos segmentos territoriais do mundo. Assim, com a avaliação da pegada hídrica dos países, pretende-se descobrir como o planeta pode proporcionar água doce suficiente para assegurar o bem-estar das pessoas, considerando que a água doce é escassa e representa, segundo GLEICK (2000), apenas 2,5% do volume total de recursos hídricos.

Tipos de pegada hídrica

A pegada hídrica total está composta pela somatória da pegada hídrica verde, azul e cinza. A **pegada hídrica verde** representa a água proveniente da chuva, que não é retirada nem armazenada pelos mananciais, mas sim armazenada temporariamente na superfície no solo úmido ou vegetação (HOEKSTRA 2009). Ela representa o volume de água da chuva consumida ou incorporada nos produtos durante o processo de produção. O cálculo da pegada hídrica verde é particularmente relevante para produtos agrícolas, devido à evapotranspiração, ou seja, a perda de água de um ecossistema para a atmosfera, causada pela evaporação a partir do solo e pela transpiração das plantas (WICHELNS 2010).

A **pegada hídrica azul** está constituída pelas águas da superficiais (rios, córregos, reservatórios artificiais, lagos e geleiras) e subterrâneas (aquíferos) que são consumidas ou incorporadas no processo de produção de um bem (HOEKSTRA et al. 2011). Já a **pegada hídrica cinza** é aquela 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, estabelecidos nos padrões de qualidade e de potabilidade existentes. Ainda que a Água Cinza não represente necessariamente entrada de água no sistema, compõe a pegada hídrica por representar o volume de água que seria necessário para a neutralização total da carga ambiental enviada aos recursos hídricos (HOEKSTRA 2009).

Nesse contexto, cabe destacar que a pegada hídrica do ponto de vista ambiental considera que os impactos diretos se referem ao consumo da água em atividades cotidianas domésticas e que o impacto indireto refere-se ao consumo de água que está incorporado nos bens e serviços finais. Em virtude disso, pelo volume consumido de bens e serviços durante um ano, percebe-se que a pegada hídrica indireta é superior à pegada hídrica direta; apesar disso e por ser “invisível”, ela é geralmente negligenciada.

2.3 Enfoques metodológicos adotados para avaliar a pegada hídrica

Atualmente, os diversos estudos que avaliam a pegada hídrica podem ser agrupados em duas categorias metodológicas: o método da árvore de produção e o método de insumo-produto ecológico.

O enfoque do **método da árvore de produção** é utilizado para calcular o teor de água virtual das culturas. Esse método geralmente combina com os dados climáticos locais. Quanto aos produtos de origem animal, esse método estima, em primeiro lugar, a água verde, a água azul e a água cinza contida na alimentação animal; e, em seguida, considera a escala ou o volume de produção para calcular o conteúdo específico de água virtual dos produtos animais. Para os produtos industriais, a maneira de calcular o teor de água virtual é semelhante ao dos produtos de origem animal, e o valor correspondente da pegada hídrica pode ser obtido pela multiplicação do teor de água virtual pelo volume de produção ou consumo de produtos (RODRIGUEZ et al. 2014, SU et al. 2015). Contudo, esse método apresenta limitações para calcular a água incorporada, principalmente nos produtos industrializados e serviços, na medida em que não leva em consideração todo o sistema econômico. Desse modo, negligencia a interdependência dos setores econômicos, não fornece a água virtual dos serviços nos fluxos do sistema econômico, bem como apresenta dupla contagem ao não considerar a água incorporada nos produtos importados que servem de insumos para as exportações do país.

Já o enfoque do **método insumo-produto ecológico** geralmente adota informações sobre os fluxos de água que interagem com as atividades econômicas. Os cálculos da água virtual e a pegada hídrica decorrem dos coeficientes de água direto e total do sistema econômico. Assim, a pegada hídrica pode ser derivada da multiplicação do coeficiente total de água pela demanda final do país ou região. Dessa forma, o consumo da água é captado de forma sistêmica no processo circular da economia (ZHAO et al. 2009, ZHANG et al. 2011).

Abrangência analítica dos modelos insumo-produto no meio ambiente

A importância de avaliar a pegada hídrica está associada aos riscos e às incertezas ambientais decorrentes da escassez de água doce versus o crescente consumo de água no sistema econômico. A expansão da atividade econômica e da população nas nações e a maior necessidade de recursos hídricos destacam-se como o problema de maior probabilidade de risco para o desenvolvimento sustentável. Avaliar o volume de água que é incorporada nos produtos e serviços finais torna-se, por conseguinte, premente para a melhor gestão dos recursos hídricos de um país.

Cabe salientar, entretanto, que uma séria limitação da análise de impactos ambientais é a tendência a lidar isoladamente com cada produto ou setor (indústria), sem reconhecer a importância das relações setoriais. Embora não seja difícil conceber a existência dessas relações econômicas, no mundo real, elas tendem a ser bastante complexas, envolvendo vários grupos de produtos e de setores, diferentes formas de encadeamentos e várias hierarquias de ramificações. O modelo insumo-produto tem a capacidade de retratar essas relações em diferentes níveis de complexidade. É uma ferramenta adequada para avaliar os recursos incorporados nos produtos, usa rotinas matemáticas que permitem rastrear o uso direto, indireto e induzido de todos os recursos incorporados na produção que são destinados para o consumo final (LEONTIEF 1970).

Existem várias extensões possíveis da análise de insumo-produto, dentre as quais está a hipótese de incorporar unidades físicas ao modelo para avaliar a dimensão ambiental. Quando os fluxos monetários (vetor linha) de um setor são substituídos na matriz de transações interindustriais por unidades físicas, o modelo é conhecido como insumo-produto híbrido. A vantagem dessa abordagem, que incorpora as unidades físicas “por dentro do modelo”, pressupõe que os fatores de conversão e os preços sejam diferentes entre os setores, o que torna o modelo consistente. Já, quando as unidades físicas são inseridas, por meio de um vetor linha, como parte dos fatores primários, são conhecidas como modelos insumo-produto ecológicos. A vantagem desse procedimento que incorpora as unidades físicas “por fora do modelo” permite, de maneira convencional, calculando a inversa de Leontief, converter as unidades monetárias em unidades físicas. Contudo, pressupõe que os fatores de conversão sejam os mesmos entre os setores e que os preços sejam os mesmos para os vários setores que a utilizam (MONTTOYA & FINAMORE 2019a).

Nesse contexto, o modelo insumo-produto híbrido e ecológico vem sendo utilizado para avaliar problemas relacionados ao meio ambiente, visto que recursos como terra, energia, emissões de dióxido de carbono (CO₂) e água, dentre outros, são incorporados na produção de bens e serviços. Por exemplo, BICKNELL et al. (1998) e WIEDMANN et al. (2006) utilizaram o uso da terra no modelo insumo-produto para estimar a pegada ecológica. Já, com relação ao aquecimento global, UKIDWE & BAKSHI (2004), HILGEMBERG & GUILHOTO (2006) e MONTTOYA et al. (2019) utilizam modelos insumo-produto híbridos e ecológicos para avaliar o impacto ambiental decorrente do consumo de energia e as emissões de CO₂. Com relação aos recursos hídricos, DIETZENBACHER & VELAZQUEZ (2007) e ZHANG et al. (2011) utilizam o modelo insumo-produto inter-regional para avaliar o comércio virtual entre regiões do mesmo país e, finalmente, ZHAO et al. (2009) e ZHI et al. (2014) utilizam o modelo insumo-produto regional para estimar a pegada hídrica

nacional bem como o comércio de água virtual no mercado internacional.

Para a economia brasileira, com base em estimativas do uso da água, PICOLI (2016), utiliza modelo insumo-produto para avaliar o uso setorial da água verde na agricultura e de água azul na indústria, já USSAMI & GUILHOTO (2018), VISENTIN & GUILHOTO (2019), com o modelo insumo-produto inter-regional identificam as principais regiões e os setores que utilizam água virtual azul, bem como avaliam o padrão de exploração regional da água no Brasil. Contudo, até o momento, nenhum estudo utilizando o modelo insumo-produto foi realizado para estimar a pegada hídrica nacional. Isso até porque, pela primeira vez, no ano de 2018, a Agência Nacional de Águas do Brasil disponibilizou dados agregados, que descrevem a interação entre a água e as atividades econômicas, adequados e necessários para estimar a pegada hídrica e o comércio de água virtual do país.

3 Metodologia

Em geral, a pegada hídrica nacional está composta pela água doce de origem nacional e origem importada incorporada na produção dos bens e serviços finais do país. Para sua mensuração, a seguir são apresentados o modelo insumo-produto, os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa e a base de dados utilizada.

3.1 Modelo insumo-produto em unidades monetárias

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 1). 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 à 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

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

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

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

Demanda Total = Oferta Total

Tabela 1: Matriz insumo-produto 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: Elaborada pelo autor.

Para o estudo da pegada hídrica nacional no modelo, foram deixadas em evidência as importações intermediárias e finais, equação (4), bem como adicionado, no lado dos fatores primários, 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 sejam fixos. Desse modo, 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).

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

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.

3.2 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 milhão de reais ($hm^3/R\$$).

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 ($\hat{\omega}_j$), e multiplicando pela matriz de coeficientes técnicos (A), o coeficiente direto de água virtual (α_j) será:

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

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.

3.3 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 somatória da pegada hídrica interna e pegada hídrica externa (HOEKSTRA & CHAPAGAIN 2007). Assim, torna-se necessário decompor, do consumo total de água doce do país (w_j), a água consumida de origem nacional (T_j), de origem importada (F_j) e a água consumida que é exportada (u_j) e, portanto, consumida por outros países. Desse modo, é preciso rastrear, nas diversas cadeias produtivas do sistema econômico, o consumo de água virtual nacional e importada da população de um país.

Pegada hídrica interna

A pegada hídrica interna é definida como o consumo doméstico de recursos hídricos para produzir bens e serviços finais consumidos pelos habitantes do país; em outras palavras, o consumo total de água virtual do país para satisfazer a demanda final menos a água virtual consumida para produtos de exportação.

A pegada hídrica interna 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.

Pegada hídrica externa

A pegada hídrica externa é definida como o volume anual de recursos hídricos incorporados nos bens e serviços importados pela demanda intermediária e pela demanda final do país. De outro modo, é a água virtual importada para o país menos o volume de água virtual exportada para outros países como resultado da reexportação de produtos importados.

O cálculo da pegada hídrica externa não é trivial; pelo contrário, é muito mais complexo devido às tecnologias de produção dos bens e serviços importados. Dessa maneira, as importações provenientes de outros países apresentam diferentes processos tecnológicos de produção que incorporam volumes de água virtual diferentes. Certamente, um modelo insumo-produto inter-regional mundial permitiria diferenciar as tecnologias de produção de cada país e, portanto, o volume de água virtual de cada produto importado. Contudo, essas informações integradas para todos os países não são disponíveis.

Para resolver o problema, assume-se a premissa, amplamente usada na literatura, de que a tecnologia de produção de um produto importado como sendo a mesma do produto doméstico, em virtude da água virtual incorporada nas importações, equivale à água que o país teria consumido se tivesse de produzir o produto importado no mercado doméstico (WIEDMANN et al. 2007, ZHAO et al. 2009).

Nesse sentido, a pegada hídrica externa ou volume de água virtual importada em cada setor da demanda intermediária e cada componente da demanda final pode ser expressa 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 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 .

Reconhecendo que apenas parte dos produtos intermediários apoiará as exportações, então, apenas uma fração da água virtual incorporada nos insumos intermediários será consumida pela demanda doméstica. A água virtual importada como uso intermediário e consumida pela demanda final doméstica (S^{in}) 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:

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

Intensidade da pegada hídrica nacional

Para avaliar a distribuição do consumo de água da demanda final doméstica entre os setores do sistema econômico, o índice de intensidade da pegada hídrica (ρ_j), proposto por ZHAO et al. (2009), 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 que 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.

3.4 Balança comercial da água virtual

O comércio virtual de água pode ser derivado como um subproduto da contabilidade da pegada hídrica nacional. De fato, a pegada hídrica da exportação virtual de água pode ser escrita como

$$u_j = \delta_j \times e_j \quad \text{ou} \quad u_j = \omega_i (I - A)^{-1} e_j \quad (18)$$

em que u_j é a exportação virtual de água para a demanda final do setor j , e_j é a exportação do setor j .

As exportações virtuais de água não estão incluídas na contabilidade da pegada hídrica nacional. Assim, tomando como referência as importações de água virtual, a balança comercial de água virtual será:

$$NX_j^{virtual} = (S_j^f + S_j^{in}) - u_j \quad (19)$$

em que $NX_j^{virtual}$ é o saldo da balança comercial de água virtual do setor j .

Note-se, na balança comercial, que as importações da água virtual têm o sinal positivo e as exportações o sinal negativo, isso porque está implícita a ideia da escassez dos recursos hídricos. Dessa forma, o alívio da crise hídrica de um país aumentará quanto mais água economizar por meio da importação de água virtual de outros territórios do planeta.

3.5 Base de dados

Os dados monetários utilizados nesta pesquisa foram extraídos das Matrizes de Insumo-Produto (MIP) de 2015, elaborada a partir das Contas Nacionais n. 62, fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2018b). 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 produtos é determinada pela atividade que os produz.

Os dados sobre a água foram extraídos das Contas Econômicas Ambientais da Água (CEAA) de 2015, elaboradas com base nas Contas Nacionais n. 60, fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística 2018a), com informações das TRU Físicas construídas de acordo com o Sistema de Contas Econômico-Ambientais da Água (SEEA-Water). Desse modo, a CEAA, em sua metodologia, integra informações hidrológicas com informações econômicas de produção, consumo intermediário e consumo final.

Cabe salientar que o conceito de pegada hídrica, associada ao consumo ou à incorporação de água na produção, está contemplado nos estoques de água doce utilizados pela CEAA para construir a MIP ambiental da água do Brasil. Assim, as informações setoriais da água utilizada ao longo do sistema econômico insumo-produto mostram a somatória da água verde, azul e cinza incorporada nos bens e serviços finais do país.

Originalmente, a CEAA apresenta uma Tabela de Recursos e Usos composta por sete fluxos hídricos e seis setores ou atividades econômicas em unidades físicas. Contudo, para esta pesquisa, as Tabelas foram desagregadas com base nas metodologias propostas por MONTOYA et al. (2014) e MONTOYA & FINAMORE (2019b).

As informações da MIP estão a preços básicos e em milhões de reais de 2015, e 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.

4 O consumo setorial de água e a água virtual na economia brasileira

A interação insumo-produto dos fluxos de água com as atividades econômicas evidencia que o consumo de água no sistema econômico varia de setor para setor. A segunda coluna da Tabela 2 mostra que o consumo total de água das atividades econômicas, no Brasil, alcança o volume de 30.554 hm^3 ao ano. Em termos agregados, chama atenção que a produção da agropecuária responde por 77,6% ou 23.704 hm^3 da água consumida no país, seguido de longe pela Indústria com 12,2% ou 3.729 hm^3 e pelos serviços com 10,2% ou 3.120 hm^3 .

Lembrando que a água consumida é a água que foi incorporada nos bens, a elevada concentração do consumo de água na agropecuária evidencia que as atividades que envolvem a produção de grãos e proteína animal requerem grandes volumes de água do meio ambiente. Assim, quando observados os setores vinculados ao agronegócio brasileiro - o consumo de água dos setores da agropecuária e da agroindústria -, verifica-se que, em conjunto, concentram 86,8% ou 26.508 hm^3 da água consumida no país. Em particular, destacam-se seis setores do agronegócio que respondem por 85,5% do consumo nacional. Tais setores são: o setor Agricultura (53,3% ou 16.278 hm^3); o setor Pecuária (21,7% ou 6.630 hm^3); o setor Abate e produtos de carne (3,9% ou 1.201 hm^3); o setor Produção florestal (2,6% ou 795 hm^3); o setor Outros produtos alimentares (2,9% ou 880 hm^3); e o setor Fabricação e refino de açúcar (1,1% ou 322 hm^3). Cabe salientar, no entanto, que, dentre os setores de serviços, o setor Água, esgoto e gestão de resíduos também é relevante na medida em que consome 7,4% ou 2.270 hm^3 da água do país.

Lembrando que, no modelo insumo-produto, cada setor produz um único produto, as informações das Tabelas 2 e Gráfico 1 mostram a água virtual total para cada produto e/ou serviço final bem como a composição direta e indireta para cada setor. 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 maior consumo de água nos fluxos de compras e de vendas dos setores para atender à demanda final.

De modo geral, observa-se que existem setores mais intensivos e menos intensivos na incorporação de água. Para diferenciá-los, 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, nos demais setores, um aumento relativamente mais forte no consumo de água, de forma indireta na economia.

Tabela 2: O consumo de água e a água virtual na economia brasileira - ano de 2015, em hm^3 e $\text{hm}^3/10^6$ R\$ ano e percentuais

MIP ÁGUA 2015 BR – Setor	Consumo de água (w_j)		Composição da Água virtual em $\text{hm}^3/10^6$ R\$					
			Direto (α_j)		Indireto (γ_j)		Total (δ_j)	
	hm^3	%	$\text{hm}^3/\text{R}\$$	%	$\text{hm}^3/\text{R}\$$	%	$\text{hm}^3/\text{R}\$$	%
1 - Agricultura	16.278	53,3	0,0014	2,5	0,0533	97,5	0,0547	100,0
2 - Pecuária	6.630	21,7	0,0036	6,6	0,0505	93,4	0,0541	100,0
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	795	2,6	0,0017	6,4	0,0253	93,6	0,0270	100,0
4 - Indústria extrativa	282	0,9	0,0002	10,4	0,0017	89,6	0,0019	100,0
5 - Abate e produtos de carne, do laticínio e da pesca	1.201	3,9	0,0178	63,6	0,0102	36,4	0,0279	100,0
6 - Fabricação e refino de açúcar	322	1,1	0,0278	75,8	0,0089	24,2	0,0367	100,0
7 - Outros produtos alimentares	880	2,9	0,0128	65,7	0,0067	34,3	0,0194	100,0
8 - Fabricação de bebidas	49	0,2	0,0020	43,3	0,0026	56,7	0,0045	100,0
9 - Fabricação de produtos do fumo	1	0,0	0,0204	89,7	0,0024	10,3	0,0228	100,0
10 - Fabricação de produtos têxteis	60	0,2	0,0044	60,4	0,0029	39,6	0,0074	100,0
11 - Confeção de artefatos do vestuário e acessórios	4	0,0	0,0009	34,5	0,0017	65,5	0,0025	100,0
12 - Fabricação de calçados e de artefatos de couro	4	0,0	0,0005	15,2	0,0030	84,8	0,0036	100,0
13 - Fabricação de produtos da madeira	17	0,1	0,0032	63,5	0,0018	36,5	0,0050	100,0
14 - Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	36	0,1	0,0015	50,6	0,0015	49,4	0,0030	100,0
15 - Fabricação de biocombustíveis	230	0,8	0,0227	73,0	0,0084	27,0	0,0311	100,0
16 - Refino de petróleo e coquerias	13	0,0	0,0007	17,7	0,0032	82,3	0,0039	100,0
17 - Fabricação de químicos, perfumaria e farmacêuticos	101	0,3	0,0004	19,9	0,0016	80,1	0,0019	100,0
18 - Fabricação de produtos não-metálicos	6	0,0	0,0004	34,6	0,0008	65,4	0,0013	100,0
19 - Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e fundição	119	0,4	0,0015	48,1	0,0016	51,9	0,0030	100,0
20 - Fabricação de produtos de metal	295	1,0	0,0005	10,3	0,0041	89,7	0,0045	100,0

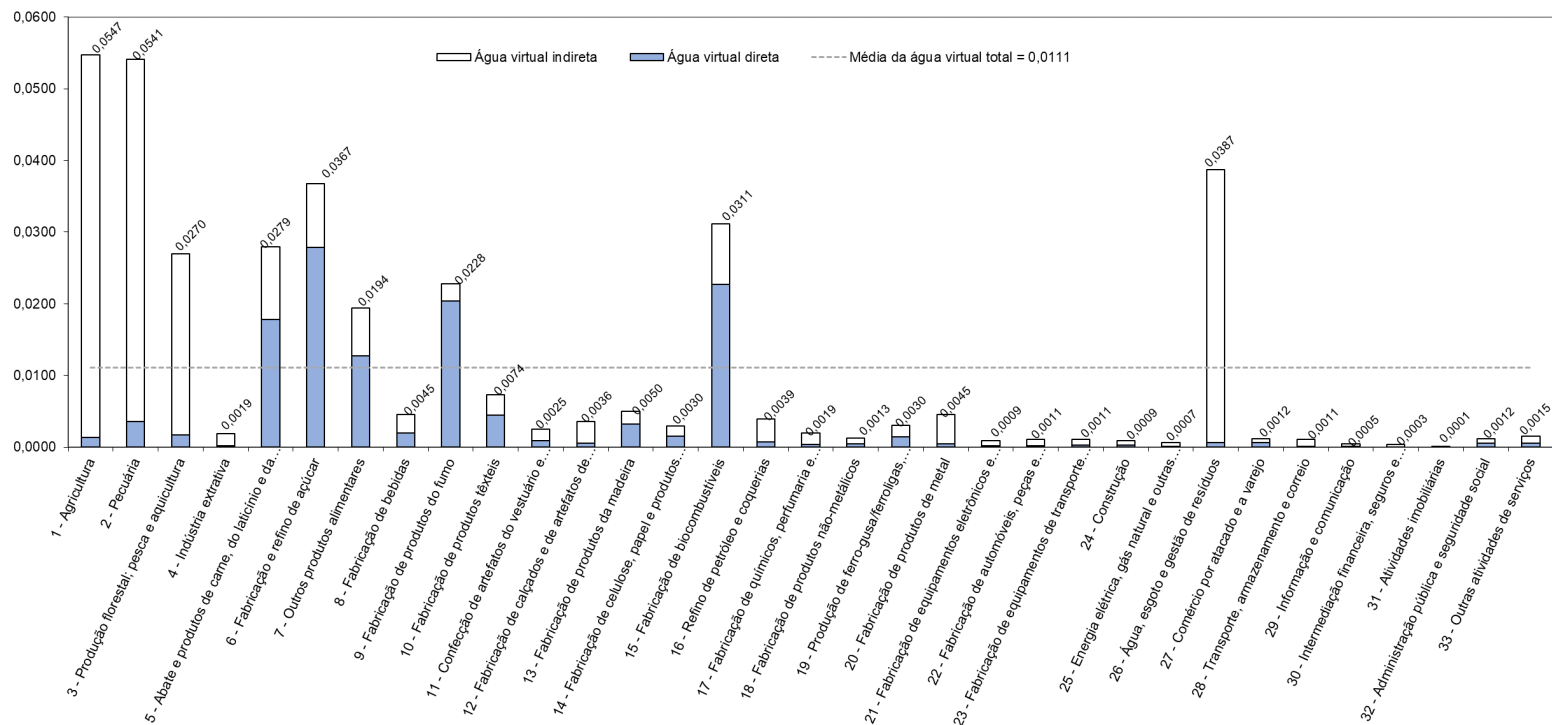
Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa.

Tabela 2: O consumo de água e a água virtual na economia brasileira - ano de 2015, em hm^3 e $\text{hm}^3/10^6 \text{R}\$$ ano e percentuais (continuação)

MIP ÁGUA 2015 BR – Setor	Consumo de água (w_j)		Composição da Águavirtual em $\text{hm}^3/10^6 \text{R}\$$					
			Direto (α_j)		Indireto (γ_j)		Total (δ_j)	
	hm^3	%	$\text{hm}^3/\text{R}\$$	%	$\text{hm}^3/\text{R}\$$	%	$\text{hm}^3/\text{R}\$$	%
21 - Fabricação de equipamentos eletrônicos e máquinas	21	0,1	0,0002	22,3	0,0007	77,7	0,0009	100,0
22 - Fabricação de automóveis, peças e acessórios	23	0,1	0,0002	19,9	0,0009	80,1	0,0011	100,0
23 - Fabricação de equipamentos de transporte e manutenção	30	0,1	0,0002	22,3	0,0009	77,7	0,0011	100,0
24 - Construção	16	0,1	0,0003	31,7	0,0006	68,3	0,0009	100,0
25 - Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	101	0,3	0,0001	15,1	0,0006	84,9	0,0007	100,0
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	2.270	7,4	0,0006	1,6	0,0381	98,4	0,0387	100,0
27 - Comércio por atacado e a varejo	104	0,3	0,0007	55,7	0,0005	44,3	0,0012	100,0
28 - Transporte, armazenamento e correio	25	0,1	0,0001	10,8	0,0010	89,2	0,0011	100,0
29 - Informação e comunicação	8	0,0	0,0001	17,1	0,0004	82,9	0,0005	100,0
30 - Intermediação financeira, seguros e previdência	13	0,0	0,0001	18,9	0,0003	81,1	0,0003	100,0
31 - Atividades imobiliárias	9	0,0	0,0000	33,9	0,0001	66,1	0,0001	100,0
32 - Administração pública e seguridade social	338	1,1	0,0005	44,3	0,0006	55,7	0,0012	100,0
33 - Outras atividades de serviços	253	0,8	0,0006	38,4	0,0009	61,6	0,0015	100,0
TOTAL	30.554	100,0	0,1281	35,0	0,2376	65,0	0,3658	100,0
Média			0,0039		0,0072		0,0111	
Impacto multiplicador do consumo de água			1,0000		1,85453		2,8545	

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

Figura 1: Água virtual total nos setores da economia brasileira no ano de 2015, em $\text{hm}^3/10^6 \text{ R\$ ano}$



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

Considerando que a média de água virtual total do país é de $0,0111 \text{ hm}^3/\text{R\$}$, verifica-se que nove setores exercem pressão significativa sobre o consumo de água. Dentre eles, destacam-se, na Agropecuária, o setor Agricultura ($0,0547 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), o setor Pecuária ($0,0541 \text{ hm}^3/\text{R\$}$) e o setor Produção florestal, pesca e aquicultura ($0,0270 \text{ hm}^3/\text{R\$}$); na Agroindústria, o setor Fabricação e refino de açúcar ($0,0367 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), o setor Fabricação de biocombustíveis ($0,0311 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), o setor Abate e produtos de carne ($0,0279 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), o setor Fabricação de produtos do fumo ($0,0228 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), o setor Outros produtos alimentares ($0,0196 \text{ hm}^3/\text{R\$}$); e, nos Serviços, o setor Água, esgoto e gestão de resíduos ($0,0387 \text{ hm}^3/\text{R\$}$).

O setor Agricultura, por exemplo, que produz alimentos para o consumo nacional e internacional, mostra que o aumento de um milhão de reais na demanda final provocará um aumento de água virtual total de $0,0547 \text{ hm}^3/\text{R\$}$, o que equivale a 54.700 m^3 de água para ser consumida em seu processo produtivo. Logo, considerando os nove setores com maior nível de água virtual, fica evidente, em função de um eventual crescimento da demanda final, que deverá haver, simultaneamente, maiores necessidades de recursos hídricos no país. Contudo, a pressão relativa que os diversos setores da economia podem exercer sobre a necessidade de água somente pode ser estabelecida analisando em separado a relação dos efeitos diretos versus indiretos no processo produtivo, ou seja, o poder de um setor 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 direta *versus* indireta, tendem a produzir as mais fortes pressões de necessidade de água (MONTTOYA & PASQUAL 2015, MONTTOYA & FINAMORE 2019a).

Na estrutura setorial de água virtual, a composição direto versus indireto mostra, na economia brasileira, como um todo, consumo direto de água (35,0%), menor que o consumo indireto (65,0%). Dessa forma, a baixa relação do efeito direto versus indireto ($0,1281 \text{ hm}^3/\text{R\$} \div 0,2376 \text{ hm}^3/\text{R\$} = 0,5391$) indica, em termos relativos, que os diversos setores exercem, por meio de suas atividades produtivas, pressão sobre a necessidade de recursos hídricos do país.

Nesse contexto, a partir de uma análise mais particularizada, verifica-se que o setor Agricultura (53,3%), o setor Pecuária (21,7%) e o setor Água, esgoto e gestão de resíduos (7,43%) 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, a água virtual indireta do setor Agricultura é 38,01 vezes maior do que a água virtual direta, indicando que, para cada m^3 de água consumida na produção do setor, haverá a necessidade adicional de $38,01 \text{ m}^3$ de água virtual de forma indireta.

Cabe salientar que os maiores volumes de água virtual direta do sistema econômico estão localizados no setor Fabricação e refino de açúcar ($0,0278 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), setor Fabricação de biocombustíveis ($0,0227 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), setor Fabricação de produtos do fumo ($0,0204 \text{ hm}^3/\text{R\$}$), setor Abate e produtos de carne ($0,0178 \text{ hm}^3/\text{R\$}$) e no setor Outros produtos alimentares ($0,0128 \text{ hm}^3/\text{R\$}$).

Contudo, se somente a água virtual direta fosse levada em consideração sem considerar a água virtual indireta, setores como Agricultura, Pecuária, Produção florestal e Água e gestão de resíduos provavelmente seriam desconsiderados pelo planejador 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 de maneira eficiente.

Finalmente, os resultados globais da água virtual da economia brasileira indicam que, caso se concretize o aumento de um milhão de reais na demanda final, ocorrerá, inicialmente, um aumento de água virtual direta da ordem de 0,1281 hm³, seguido de um aumento de água virtual indireta de 0,2376 hm³, perfazendo um total de 0,3658 hm³ de água virtual. Nota-se, portanto, que ocorrerá um efeito multiplicador de água virtual 2,8545 hm³ (ou, 0,3658 hm³ ÷ 0,1281 hm³ = 2,8545 hm³). Desse modo, um aumento equivalente a 2.854.500 m³ de água virtual por cada milhão de reais de produção na economia brasileira.

5 Dimensão da pegada hídrica brasileira e a balança comercial da água virtual

A política nacional que tenha como objetivo economizar o consumo de água pode ter seus alicerces a partir de dois enfoques: um deles é identificar os setores consumidores de água virtual e incentivá-los a um padrão de consumo mais econômico; e o outro é implementar a estratégia que defenda a importação de água virtual de países com abundantes recursos hídricos, salientando sempre a relevância dos países exportadores de água virtual para o bem-estar mundial. A seguir, avaliam-se os resultados da quantificação da pegada hídrica nacional e da balança comercial tendo em vista esses enfoques.

5.1 A pegada hídrica nacional e o consumo per-capita de água virtual

Com base na metodologia utilizada, conforme a Tabela 3, a pegada hídrica nacional do Brasil, em 2015, atingiu o volume de 22.012 hm³ de água virtual por ano, que, associada à população de 204.450.649 habitantes, equivale a um consumo de água virtual per-capita de 107,66 m³/ano ou de 294,97 litros/dia. Em termos econômicos, a pegada hídrica nacional associada ao Produto Interno Bruto (R\$/5.155.601milhões) evidencia no país que são consumidos 4,27 litros de água virtual para cada RS 1,00 de Valor Adicionado.

Tabela 3: A pegada hídrica nacional (PHN) e o consumo per-capita de água virtual no Brasil em 2015

Indicadores	hm ³ /ano	m ³ /ano per-capita	litros/dia per-capita	litros/R\$
Pegada hídrica nacional	22.012	107,66	294,97	4,27
Uso de água das famílias	8.086	39,55	108,36	1,57
Consumo de água das famílias	46	0,22	0,62	0,01

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa e Anexo Apêndice A.

Considerando que, dentre os componentes da demanda final, desconsiderando as exportações, as famílias concentram 85,7% (ou, $17.061 \text{ hm}^3/19.907 \text{ hm}^3 = 0,857$) do consumo doméstico do país, os resultados também indicam que as famílias consomem muito mais água incorporada nos bens e serviços finais ($22.012 \text{ hm}^3/\text{ano}$) do que a água consumida ($46 \text{ hm}^3/\text{ano}$) diretamente no lar. Assim, fica evidente que as informações tradicionais do uso ($8.086 \text{ hm}^3/\text{ano}$) e do consumo ($46 \text{ hm}^3/\text{ano}$) de água das famílias subestimam a real demanda de recursos hídricos do país.

5.2 A composição setorial da pegada hídrica nacional

A Tabela 4 fornece a quantidade de água virtual interna e externa dos 33 setores da economia brasileira. A pegada hídrica total do Brasil, em 2015, é estimada em $22.012 \text{ hm}^3/\text{ano}$, dos quais $19.907 \text{ hm}^3/\text{ano}$ é a pegada hídrica interna e 2.105 hm^3 , a pegada hídrica externa. A pegada interna é responsável por 90,4% da pegada hídrica total do país, evidenciando que a água virtual interna se constitui um componente substancial para atender ao consumo final do Brasil. Embora a pegada hídrica externa represente somente 9,6% da pegada hídrica nacional, cabe salientar que 61,1% ou $1.266 \text{ hm}^3/\text{ano}$ da água virtual importada está destinada para o consumo intermediário e 39,9% ou $839 \text{ hm}^3/\text{ano}$ para o consumo na demanda final. Em vista disso, grande proporção da água importada é incorporada na produção das diversas cadeias produtivas do país para atender à demanda final.

A pegada hídrica total do setor Agricultura é a mais alta de todos os setores, com uma quantidade de $8.961 \text{ hm}^3/\text{ano}$, representando 40,7% do total, seguido de longe pelo setor Pecuária, com $5.416 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ou 24,6%, e pelo setor Água, esgoto e gestão de resíduos, com $2.219 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ou 10,1%. Em conjunto, os três setores representam 75,4% da pegada hídrica nacional, o que indica uma grande concentração setorial de água virtual no país.

Em um patamar menor, os setores tais como Outros produtos alimentares ($991 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ou 4,5%), Abate e produtos de carne, laticínio e da pesca ($980 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ou 4,5%), Produção florestal, pesca e aquicultura ($677 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ou 3,1%), Administração pública e seguridade social ($385 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ou 1,8%), Outras atividades de serviços ($365 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ou 1,7%), Fabricação de produtos de metal ($275 \text{ hm}^3/\text{ano}$ ou 1,3%) também têm uma pegada hídrica total relativamente alta e respondem em conjunto por 16,7% da pegada hídrica nacional.

A composição da pegada hídrica total dos nove principais setores consumidores de água virtual do país é apresentada no Gráfico 2. Esses setores representam 90,8% da pegada hídrica nacional, 93,9% da pegada hídrica interna e 61,7% da pegada hídrica externa.

Pode-se observar que a proporção de pegadas hídricas internas dos principais setores no consumo de água virtual é geralmente alta na pegada hídrica total. Por exemplo, a proporção da pegada hídrica interna da agricultura é de 94,4% ou $8.462 \text{ hm}^3/\text{ano}$, da Pecuária é de 97,3% ou $5.271 \text{ hm}^3/\text{ano}$ e da Água, esgoto e gestão de resíduos é de 97,8% ou $2.170 \text{ hm}^3/\text{ano}$.

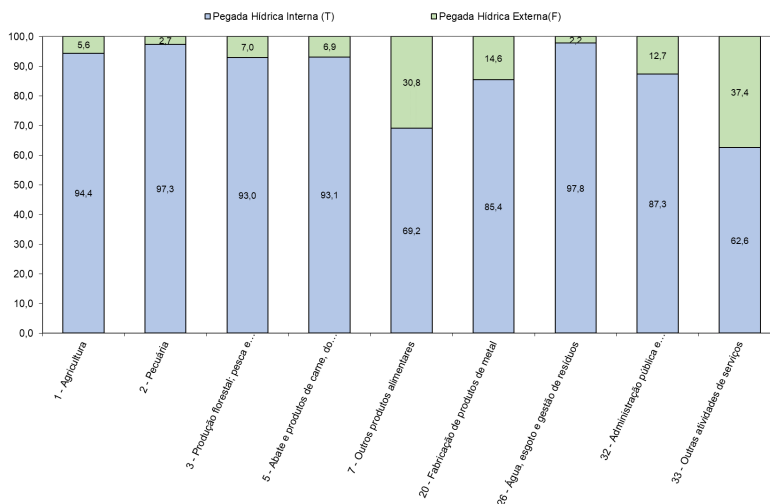
Já no setor Outras atividades de serviços, a proporção de pegada hídrica externa é relevante, com 37,4% ou $137 \text{ hm}^3/\text{ano}$. Considerando que esse setor contém as atividades de alojamento, de alimentação, de serviços domésticos, de educação e de saúde privada, a proporção hídrica externa 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

Tabela 4: Contabilidade ambiental da pegada hídrica na economia brasileira - ano de 2015, em hm³/ano e percentuais

MIP ÁGUA 2015 BR – Setor	Pegada hídrica interna (T_j)		Água virtual importada				Pegada hídrica nacional (PHN_j)		Participação setorial na Pegada hídrica nacional	Índice de intensidade (ρ_j)
			Demanda final interna (S_j^f)	Consumo intermediário interno (S_j^{in})	Total Pegada hídrica externa (F_j)					
	hm ³ /ano	%	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	%	hm ³ /ano	%	%	
1 - Agricultura	8.462	94,4	480	20	499	5,6	8.961	100,0	40,7	37,54
2 - Pecuária	5.271	97,3	118	27	145	2,7	5.416	100,0	24,6	36,79
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	629	93,0	35	13	47	7,0	677	100,0	3,1	10,40
4 - Indústria extrativa	143	90,0	7	9	16	10,0	159	100,0	0,7	1,71
5 - Abate e produtos de carne, do laticínio e da pesca	913	93,1	28	40	68	6,9	980	100,0	4,5	1,57
6 - Fabricação e refino de açúcar	155	96,7	5	1	5	3,3	160	100,0	0,7	4,15
7 - Outros produtos alimentares	686	69,2	29	276	306	30,8	991	100,0	4,5	1,87
8 - Fabricação de bebidas	44	68,9	2	18	20	31,1	65	100,0	0,3	0,41
9 - Fabricação de produtos do fumo	0	12,9	0	2	3	87,1	3	100,0	0,0	0,10
10 - Fabricação de produtos têxteis	51	64,8	8	19	28	35,2	79	100,0	0,4	1,42
11 - Confeção de artefatos do vestuário e acessórios	4	11,8	1	26	26	88,2	30	100,0	0,1	0,15
12 - Fabricação de calçados e de artefatos de couro	3	26,8	0	7	8	73,2	10	100,0	0,0	0,11
13 - Fabricação de produtos da madeira	10	91,3	1	0	1	8,7	11	100,0	0,0	5,74
14 - Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	20	75,6	1	5	6	24,4	26	100,0	0,1	0,65
15 - Fabricação de biocombustíveis	172	93,9	6	5	11	6,1	183	100,0	0,8	2,98
16 - Refino de petróleo e coquerias	11	9,9	0	98	98	90,1	109	100,0	0,5	0,33
17 - Fabricação de químicos, perfumaria e farmacêuticos	70	36,7	13	108	121	63,3	191	100,0	0,9	0,62
18 - Fabricação de produtos não-metálicos	5	18,8	0	21	21	81,2	26	100,0	0,1	0,48
19 - Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e fundição	56	85,6	7	2	9	14,4	66	100,0	0,3	5,31
20 - Fabricação de produtos de metal	235	85,4	25	15	40	14,6	275	100,0	1,3	3,75
21 - Fabricação de equipamentos eletrônicos e máquinas	17	19,6	6	63	69	80,4	86	100,0	0,4	0,13
22 - Fabricação de automóveis, peças e acessórios	18	30,4	3	37	41	69,6	58	100,0	0,3	0,12
23 - Fabricação de equipamentos de transporte e manutenção	23	38,8	4	32	36	61,2	58	100,0	0,3	0,18
24 - Construção	16	23,4	0	52	52	76,6	67	100,0	0,3	0,03
25 - Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	17	30,8	0	37	38	69,2	55	100,0	0,2	0,17
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	2.170	97,8	45	4	49	2,2	2.219	100,0	10,1	22,04
27 - Comércio por atacado e a varejo	94	55,5	3	73	76	44,5	170	100,0	0,8	0,06
28 - Transporte, armazenamento e correio	20	32,5	1	40	41	67,5	61	100,0	0,3	0,12
29 - Informação e comunicação	7	19,9	0	28	29	80,1	36	100,0	0,2	0,05
30 - Intermediação financeira, seguros e previdência	12	53,2	0	10	10	46,8	22	100,0	0,1	0,02
31 - Atividades imobiliárias	9	83,0	0	2	2	17,0	11	100,0	0,0	0,01
32 - Administração pública e seguridade social	337	87,3	0	48	49	12,7	385	100,0	1,8	0,08
33 - Outras atividades de serviços	228	62,6	9	128	137	37,4	365	100,0	1,7	0,12
TOTAL	19.907	90,4	839	1.266	2.105	9,6	22.012	100,0	100,0	1,00

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

Figura 2: Composição da pegada hídrica dos principais setores consumidores de água virtual da economia brasileira no ano de 2015, em percentual



Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da Tabela 4.

produtos alimentares, a pegada hídrica externa é de 30,8% ou 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, na composição da pegada hídrica setorial, a proporção da pegada hídrica externa é extremamente relevante. Dentre eles se destacam, na Tabela 4, o setor Refino de petróleo e coqueiras (90,1%), o setor Confecção de artefatos do vestuário e acessórios (88,2%), o setor Fabricação de produtos do fumo (87,1%), o setor Informação e comunicação (80,1%), o setor Fabricação de automóveis, peças e acessórios (69,6%) e o setor Construção (76,6%). Assim, se o objetivo for poupar água virtual interna, esses setores deveriam ser levados em consideração para esse tipo de políticas.

5.3 A intensidade setorial na pegada hídrica nacional

O índice de intensidade da pegada hídrica (ρ_j) permite identificar os setores que consomem mais quantidade de água virtual por unidade monetária da demanda final doméstica. Os resultados listados na Tabela 4 indicam que, dos 33 setores da economia brasileira, 14 apresentam índices maiores do que um, ou seja, setores com intensidade no consumo de água acima da média nacional. Dentre eles, três padrões distintos emergem: a) setores como a Agricultura (37,54) e a Pecuária (36,79), que incorporam grandes volumes de água por unidade produzida, em torno de 37 vezes mais do que a média nacional; b) setores que, em média, incorporam 9,5 vezes a média do país, tais como, os setores Água, esgoto e gestão de resíduos (22,04), Produção florestal (10,40), Produção de ferros, siderurgia e fundição (5,31), Fabricação de produtos da madeira (5,74) e Fabricação e refino de açúcar (4,15); c) setores que se lo-

calizam um pouco acima da média nacional, como os setores Fabricação de biocombustíveis (2,98), Outros produtos alimentares (1,87), Indústrias extrativas (1,71), Abate e produtos de carne (1,57) e Fabricação de produtos têxteis (1,42).

No outro extremo, localizam-se os setores mais racionais no consumo de água – são os setores menos intensivos no consumo de água por unidade produzida para a demanda final. Dentre os 22 setores que compõem a indústria nacional, destacam-se 12 setores e, dentre os nove setores que compõem os serviços, destacam-se oito setores. Desse modo, em termos relativos, os setores de serviços, em função da natureza dos processos produtivos não incorporar grandes volumes de “água virtual”, em sua grande maioria mostram-se mais racionais no consumo de água virtual.

5.4 Balança comercial da água virtual na economia brasileira

A estratégia nacional direcionada a economizar água por meio da importação de água virtual dos países com abundantes recursos hídricos pode ser considerada uma política promissora para o alívio da crise hídrica de um país. Em virtude disso, na balança comercial de água virtual, as importações são consideradas benéficas para o meio ambiente nacional, com sinal positivo, e as exportações prejudiciais apresentando, portanto, um sinal negativo. Certamente, para equilibrar os impactos positivos e negativos sobre o meio ambiente, promover a interdependência sustentável da água virtual entre as nações torna-se um objetivo importante para obter ganhos de bem-estar social mundial.

Na Tabela 5, é apresentada a balança comercial de água virtual na economia brasileira em 2015. Os resultados globais indicam que o Brasil é um exportador líquido, com um saldo exportador de 8.542 hm³/ano de água virtual. Na verdade, as exportações líquidas de água virtual da economia brasileira podem ser maiores do que os resultados alcançados. Como o cálculo da importação virtual de água é baseado na premissa de que os produtos importados possuem o mesmo volume de água virtual dos produtos produzidos no Brasil, isso pode estar superestimando a água importada na medida em que pode existir um consumo mais eficiente da água na produção dos países que se importa. Apesar disso, deve-se salientar que o volume de exportação de água virtual (10.647 hm³/ano) em relação ao volume de importações (2.105 hm³/ano) é cinco vezes maior.

Embora as exportações de água virtual (10.647 hm³/ano) não façam parte da contabilidade ambiental da pegada hídrica nacional (22.012 hm³/ano), elas equivalem a 48,37% da pegada hídrica do Brasil - quase a metade do consumo de água virtual do país. Frente a esse fato e considerando que o Brasil no mercado internacional detém o status de um grande fornecedor de alimentos, pode-se afirmar que o agronegócio nacional, por intermédio dos setores Agricultura (73,41%), Pecuária (12,76%), Abate e produtos de carne (2,71%), Outros produtos alimentares (1,83%), Fabricação e refino de açúcar (1,57%) e Produção florestal (1,56%), que em conjunto concentram 93,84% da água virtual exportada pelo país, são os canais pelos quais a economia brasileira contribui significativamente, com recursos hídricos, para o bem-estar da população mundial.

A esse respeito, se considerar-se o consumo de água virtual per-capita do Brasil e o extrapolá-lo para a balança comercial, conforme mostra a Tabela

Tabela 5: Contabilidade ambiental da balança comercial de água virtual na economia brasileira - ano de 2015, em hm^3/ano

MIP ÁGUA 2015 BR – Setor	Importação de água virtual ($S_j^f + S_j^{in}$)		Exportação de água virtual (u_j)		Saldo da balança comercial de água virtual ($NX_j^{virtual}$)	
	hm^3/ano	%	hm^3/ano	%	hm^3/ano	%
1 - Agricultura	499	23,72	-7.816	73,41	-7.317	85,66
2 - Pecuária	145	6,87	-1.359	12,76	-1.214	14,22
3 - Produção florestal; pesca e aquicultura	47	2,26	-166	1,56	-119	1,39
4 - Indústria extrativa	16	0,75	-139	1,30	-123	1,44
5 - Abate e produtos de carne, do laticínio e da pesca	68	3,21	-288	2,71	-221	2,58
6 - Fabricação e refino de açúcar	5	0,25	-167	1,57	-162	1,90
7 - Outros produtos alimentares	306	14,52	-194	1,83	111	-1,30
8 - Fabricação de bebidas	20	0,96	-4	0,04	16	-0,18
9 - Fabricação de produtos do fumo	3	0,12	0	0,00	2	-0,03
10 - Fabricação de produtos têxteis	28	1,31	-9	0,08	19	-0,22
11 - Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	26	1,25	0	0,00	26	-0,31
12 - Fabricação de calçados e de artefatos de couro	8	0,36	-1	0,01	6	-0,07
13 - Fabricação de produtos da madeira	1	0,04	-7	0,07	-6	0,07
14 - Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	6	0,30	-16	0,15	-10	0,11
15 - Fabricação de biocombustíveis	11	0,53	-58	0,55	-47	0,55
16 - Refino de petróleo e coquerias	98	4,66	-3	0,02	96	-1,12
17 - Fabricação de químicos, perfumaria e farmacêuticos	121	5,74	-30	0,29	90	-1,06
18 - Fabricação de produtos não-metálicos	21	0,99	-1	0,01	20	-0,23
19 - Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e fundição	9	0,45	-63	0,59	-54	0,63
20 - Fabricação de produtos de metal	40	1,91	-60	0,56	-20	0,23

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

Tabela 5: Contabilidade ambiental da balança comercial de água virtual na economia brasileira - ano de 2015, em hm³/ano (continuação)

MIP ÁGUA 2015 BR – Setor	Importação de água virtual ($S_j^f + S_j^{in}$)		Exportação de água virtual (u_j)		Saldo da balança comercial de água virtual ($NX_j^{virtual}$)	
	hm ³ /ano	%	hm ³ /ano	%	hm ³ /ano	%
21 - Fabricação de equipamentos eletrônicos e máquinas	69	3,27	-4	0,04	65	-0,76
22 - Fabricação de automóveis, peças e acessórios	41	1,93	-6	0,05	35	-0,41
23 - Fabricação de equipamentos de transporte e manutenção	36	1,70	-8	0,07	28	-0,33
24 - Construção	52	2,45	0	0,00	51	-0,60
25 - Energia elétrica, gás natural e outras utilidades	38	1,80	-2	0,02	36	-0,42
26 - Água, esgoto e gestão de resíduos	49	2,35	-201	1,89	-151	1,77
27 - Comércio por atacado e a varejo	76	3,59	-10	0,09	66	-0,77
28 - Transporte, armazenamento e correio	41	1,96	-5	0,04	37	-0,43
29 - Informação e comunicação	29	1,36	-1	0,00	28	-0,33
30 - Intermediação financeira, seguros e previdência	10	0,50	-1	0,01	9	-0,11
31 - Atividades imobiliárias	2	0,09	0	0,00	2	-0,02
32 - Administração pública e seguridade social	49	2,32	-2	0,02	47	-0,55
33 - Outras atividades de serviços	137	6,49	-24	0,23	112	-1,31
TOTAL	2.105	100,00	-10.647	100,00	-8.542	100,00

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

6, pode-se observar que as exportações brasileiras de água virtual abastecem 98,88 milhões de habitantes com um consumo per-capita de 107,66 m³/ano ou de 294,97 litros/dia. Nesse sentido, as exportações líquidas da balança comercial (8.542 hm³/ano) representam o consumo de água virtual de 79,33 milhões de habitantes, o que equivale, em 2015 a 7,7 vezes a população de Portugal (10.311.000 hab.), 1,2 vezes a população do Reino Unido (65.081.276 hab.) e quase toda a população da Alemanha (81.276.000 hab.). Certamente, quando se lembra que os produtos brasileiros são exportados, principalmente como insumos e também como produtos finais para mais de 100 países no mundo, e, em muitos casos, esses insumos são reexportados, pode-se inferir que a água virtual brasileira é distribuída para grande parte da população mundial.

Tabela 6: População equivalente ao Brasil com consumo de água virtual per-capita de 107,66 m³/ano ou de 294,97 litros/dia – ano de 2015

Indicadores	hm ³ /ano	População
Pegada Hídrica Nacional	22.012	204.450.649
Importação de água virtual	2.105	19.554.010
Exportação de água virtual	-10.647	-98.889.787
Saldo da balança comercial da água virtual	-8.542	-79.335.777

Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da pesquisa e Tabela 3.

Para uma análise mais particularizada, o Gráfico 3 mostra o saldo da balança comercial de água virtual de cada setor no Brasil em 2015. Os setores acima da linha horizontal são os importadores líquidos de água virtual, enquanto os que estão abaixo da linha são exportadores líquidos.

Observa-se que, dos 33 setores da economia brasileira, 21 apresentam saldo de importação líquida, que, em conjunto, somam 902 hm³/ano de água virtual; e 12 setores apresentam saldo de exportações líquidas, alcançando, em conjunto, o volume de 9.443 hm³/ano de água virtual. Assim sendo, o saldo exportador extremamente elevado representa 10,5 vezes o saldo importador. Dentre os setores com saldo de exportações líquidas, destacam-se principalmente o setor Agricultura, com 7.317 hm³/ano, o setor Pecuária, com 1.214 hm³/ano, e o setor Abate e produtos de carne, com 221 hm³/ano. Já, dentre os setores com saldo líquido de importações, destacam-se o setor Outros produtos alimentares, com 111 hm³/ano, e o setor Outras atividades de serviços, com 106 hm³/ano.

Nesse panorama e considerando que as Nações Unidas (ONU) estimam até 2025 que cerca de dois terços da população mundial sofrerão com a escassez de água, o consumo dos recursos hídricos, além de ser uma questão ambiental, nas últimas décadas, passou a ser um problema econômico, já que o consumo de água deve ser otimizado objetivando maiores benefícios para a população. Embora os recursos hídricos sejam escassos, atualmente ninguém paga pela água virtual incorporada nos produtos, pois não existe um mercado formal de água virtual.

Figura 3: Saldo líquido setorial no comércio de água virtual da economia brasileira no ano de 2015, em hm³



Fonte: Elaborada pelo autor com base nos dados da Tabela 5.

Em termos econômicos, para que o consumo de água seja sustentável, a escassez e a poluição precisam ser incluídas no preço dos bens e serviços por meio da remuneração da água virtual. Isso certamente poderá criar um incentivo para consumir de forma mais racional e poluir menos a água no planeta. Assim, o comércio de água virtual, com respeito ao meio ambiente, poderá criar grandes oportunidades de negócios ao Brasil por ser um líquido exportador de água virtual.

Considerações finais

Este artigo teve como objetivo mensurar a pegada hídrica brasileira, bem como avaliar no mercado internacional o saldo da balança comercial de água virtual. Para isso, foi construído um modelo insumo-produto ecológico que incorpora o consumo setorial de água para o ano de 2015.

Com relação ao consumo setorial de água, verificou-se que existe, no país, concentração no consumo, na medida em que a agropecuária responde por 77,6%, a Indústria por 12,2% e os Serviços por 10,2%.

A quantidade total de água virtual consumida em cada setor para produzir uma unidade monetária destinada para a demanda final destacou, principalmente, os setores da agropecuária e da agroindústria como aqueles que incorporam grandes volumes de água por unidade produzida no sistema econômico. O mais emblemático é o setor Agricultura, que produz alimentos para o consumo nacional e internacional, mostrando que o aumento de um milhão de reais na demanda final provocará de forma direta e indireta um aumento de água virtual total de 54,700 m³ para ser consumida em seu processo produtivo.

Na estrutura setorial de água virtual total, a composição direto *versus* indireto mostra, na economia brasileira, que os maiores volumes de água virtual direta estão localizados, dentre outros, no setor Fabricação e refino de açúcar, setor Fabricação de biocombustíveis e setor Fabricação de produtos do fumo. Contudo, se somente o consumo direto fosse levado em consideração sem levar em conta o consumo de água virtual indireta, setores como Agricultura, Pecuária, Produção florestal e Água, esgoto e gestão de resíduos provavelmente seriam desconsiderados pelo planejador da política de recursos hídricos. Para economizar água, torna-se fundamental, portanto, prestar atenção à eficiência do consumo de água ao longo das cadeias produtivas.

Quanto à pegada hídrica nacional, verificou-se que o Brasil consome 22.012 hm³ de água virtual por ano, o que equivale a um consumo per-capita de 107,66 m³/ano ou de 294,97 litros/dia. Constatou-se também que o sistema produtivo do país depende substancialmente da pegada interna responsável por 90,4% da pegada hídrica nacional. Embora a pegada hídrica externa represente somente 9,6%, ficou evidente que 60,1% da água virtual importada está destinada, na forma de insumos, para o consumo intermediário das diversas cadeias produtivas do país.

Em nível setorial, verificou-se elevada concentração de água virtual na produção da Agricultura (40,7%) e da Pecuária (24,6%) já que, em conjunto, respondem por 65,3% da pegada hídrica nacional. Em um patamar menor, apresentam destaque as atividades de água e gestão de resíduos, bem como o da agroindústria de alimentos. Verificou-se também que os setores da agropecuária

ria e agroindústria, em geral, e o setor água e gestão de resíduos, em particular, apresentam os maiores índices de intensidade no consumo de água virtual.

Com relação à balança comercial de água virtual, verificou-se que o Brasil é um exportador líquido, com um saldo de 8.542 hm³/ano de água virtual. Embora as exportações de água virtual (10.647 hm³/ano) não façam parte da contabilidade ambiental da pegada hídrica nacional (22.012 hm³/ano), verificou-se que elas equivalem quase a metade do consumo de água virtual do país, e os setores do agronegócio são os principais canais pelos quais o país contribui significativamente, com recursos hídricos, para o bem-estar social da população mundial.

A respeito, verificou-se que o saldo líquido exportador da balança comercial de água virtual é capaz de abastecer 79,33 milhões de habitantes com um consumo per-capita de 107,66 m³/ano. Esses habitantes equivalem a 7,7 vezes a população de Portugal, 1,2 vezes a população do Reino Unido e quase toda a população da Alemanha.

Por fim, considerando que a população mundial sofre com a escassez de água, o consumo dos recursos hídricos, além de ser uma questão ambiental, passou a ser um problema econômico. Assim, para que o consumo de água seja sustentável, a escassez e a poluição precisam ser incluídas no preço dos bens e serviços por meio da remuneração da água virtual. Isso certamente poderá criar um incentivo para consumir de forma mais racional e sustentável a água no planeta. O comércio de água virtual, com respeito ao meio ambiente, poderá criar grandes oportunidades de negócios ao Brasil por ter abundantes recursos hídricos e ser um líquido exportador de água virtual.

Referências Bibliográficas

- ALLAN, J. A. (1998). Virtual water: a strategic resource. *Ground Water*, v. 36, n. 4, p. 545, 1998.
- ANA. Agência Nacional de Águas (2018). *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.
- BICKNELL, K. B., BALL, R. J., CULLEN, R. & BIGSBY, H. R. (1998). New methodology for the ecological footprint with an application to the New Zealand economy. *Ecological Economics*, v. 27, n. 2, p. 149–160, 1998.
- BLINGER, T. & KOTSUKA, L. K. (2015). Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. *Revista Recursos Hídricos [online]*, v. 36, n. 1, p. 15–24, mai. 2015.
- CHAPAGAIN, A. K. & HOEKSTRA, A. Y. (2007). The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands. *Ecological Economics*, v. 64, p. 109–118, 2007.
- DIETZENBACHER, E. & VELAZQUEZ, E. (2007). 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>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2016). *Notícias*, 2016. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/>

12990229/brasil-esta-entre-os-paises-com-maior-area-irrigada-do-mundo. Acesso em: 19 fev. 2019.

GLEICK, P. H. (2000). The changing water paradigm: A look at twenty-first century water resources development. *Water International*, v. 25, p. 127–138, 2000.

HILGEMBERG, E. M. & GUILHOTO, J. J. M. (2006). Uso de combustíveis e emissões de CO₂ no Brasil: um modelo inter-regional de insumo-produto. *Nova Economia*, Belo Horizonte, v. 16, n. 1, p. 49–99, abr. 2006.

HOEKSTRA, A. Y. (2009). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, v. 68, p. 1963–1974, 2009.

HOEKSTRA, A. Y. & CHAPAGAIN, A. K. (2007). Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. *Water Resources Management*, n. 21, p. 35–48, 2007.

HOEKSTRA, A. Y., CHAPAGAIN, A. K., ALDAYA, M. M. & MEKONNEN, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. London: Earthscan, 2011.

HOEKSTRA, A. Y. & HUNG, P. Q. (2002). Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. *Value of Water Research Report Series*, n. 11. Delft, The Netherlands: UNESCO-IHE, 2002.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018a). *Contas Nacionais n. 60. Contas Econômicas Ambientais da Água de 2013-2015*- CEEA. Rio de Janeiro: IBGE, 2018a.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2018b). *Contas Nacionais n. 62. Matriz de Insumo Produto 2015*. Rio de Janeiro: IBGE, 2018b.

LEONTIEF, W. (1970). Environmental repercussions and the economic structure: An input-output approach. *The Review of Economics and Statistics*, v. 52, n. 3, p. 262–271, 1970.

MONTOYA, M. A., BERTUSSI, L. A., LOPES, R. L. & FINAMORE, E. F. (2019). Uma nota sobre consumo energético, emissões, renda e emprego na cadeia de soja no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v. 73, n. 3, p. 345-369, jul./set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.5935/0034-7140.20190016>.

MONTOYA, M. A. & FINAMORE, E. F. A. (2019a). As relações intersectoriais 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. (2019b). 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. (2014). 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. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-8050/ea463>.
- MONTOYA, M. A. & PASQUAL, C. A. (2015). 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.
- OEL, P. R. & HOEKSTRA, A. Y. (2012). Towards quantification of the water footprint of paper: A first estimate of its consumptive component. *Water Resource Management*, v. 11, p. 9942–9949, 2012.
- PENA, R. F. A. (2018). Escassez de água no Brasil. *Brasil Escola*, 2018. Disponível em <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/escassez-agua-no-brasil.htm>. Acesso em: 24 out. 2018.
- PICOLI, I. T. (2016), PhD thesis. *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.
- RODRIGUEZ, C. I., GALARRETA, V. A. R. & KRUSE, E. E. (2014). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina*, v. 90, p. 91–96, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.075>.
- SU, M. H., HUANG, C. H., LI, W. Y., TSO, C. T. & LUR, H. S. (2015). Water footprint analysis of bioethanol energy crops in Taiwan. *Journal of Cleaner Production*, v. 88, p. 132–e138, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.020>.
- UKIDWE, N. U. & BAKSHI, B. R. (2004). Thermodynamic accounting of ecosystem contribution to economic sectors with application to 1992 U.S. economy. *Environmental Science & Technology*, v. 38, n. 18, p. 4810–4827, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1021/es035367t>.
- USSAMI, K. A. & GUILHOTO, J. J. M. (2018). Economic and water dependence among regions: The case of Alto Tiete, São 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. (2019). 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.
- WICHELNS, D. (2010). Virtual water: a helpful perspective, but not a sufficient policy criterion. *Water Resource Management*, n. 24, p. 2203–2219, 2010.
- WIEDMANN, T., LENZEN, M., TURNER, K. & BARRETT, J. (2007). 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>.

WIEDMANN, T., MINX, J., BARRETT, J. & WACKERNAGEL, M. (2006). Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output analysis. *Ecological Economics*, v. 56, p. 28–48, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.05.012>.

ZHANG, Z., YANG, H. & SHI, M. (2011). 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., B, C. & F, Y. Z. (2009). 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. (2014). 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.

Apêndice A

Tabela A.1: Os fluxos relativos do uso e consumo da água na economia brasileira - 2015 (hm³/ano e percentuais)

Fluxos	Recursos e usos (hm ³ /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
	8. Participação no Uso total das atividades (3/coluna 8).	1,05%	0,03%	0,20%	96,98%	1,68%	0,06%	100,00%	0,25%	100,00%
	9. Participação no Consumo total das atividades (7/coluna 8).	77,58%	0,92%	11,29%	0,33%	7,43%	2,45%	100,00%	0,15%	100,00%

Fonte: IBGE, Ministério do Meio Ambiente, ANA. Agência Nacional de Águas (2018).

