



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 02/2021

**PEGADA HÍDRICA, COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ÁGUA VIRTUAL,
DETERMINANTES DO CONSUMO E DESACOPLAMENTO HÍDRICO-
ECONÔMICO NO BRASIL: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO**

Marco Antonio Montoya
Luís Antônio Sleimann Bertussi
Edson Talamini
Gabriela Allegretti

PEGADA HÍDRICA, COMÉRCIO INTERNACIONAL DE ÁGUA VIRTUAL, DETERMINANTES DO CONSUMO E DESACOPLAMENTO HÍDRICO-ECONÔMICO NO BRASIL: UMA ANÁLISE INSUMO-PRODUTO

WATER FOOTPRINT, INTERNATIONAL TRADE IN VIRTUAL WATER, DETERMINANTS OF CONSUMPTION AND DECOUPLING ECONOMIC GROWTH FROM WATER IN BRAZIL: AN INPUT-OUTPUT ANALYSIS

Marco Antonio Montoya¹
Luís Antônio Sleimann Bertussi²
Edson Talamini³
Gabriela Allegretti⁴

Resumo

O artigo avalia, com base no consumo de água do Brasil dos anos de 2010 e 2015, a pegada hídrica, o comércio internacional de água virtual, os fatores determinantes do consumo de água bem como o desacoplamento entre recursos hídricos e o crescimento econômico. Verificou-se elevada concentração setorial na pegada hídrica, redução per capita no consumo de água e um saldo exportador de “água virtual” crescente, impulsionado pelos setores da agropecuária e da agroindústria. A decomposição das fontes de crescimento evidenciou que o efeito econômico é o fator determinante para o aumento do consumo de água, enquanto os ganhos de eficiência tecnológica e o efeito população reduzem em maior proporção o consumo de água no país. Ficou evidente um estado de desacoplamento forte entre o consumo de água e o crescimento econômico no Brasil – uma situação desejável de aumento da riqueza cada vez menos dependente desse recurso natural, pois a pegada hídrica diminuiu com o crescimento da economia, o que reflete enormes ganhos de eficiência no consumo de água. Em geral, observou-se que as mudanças direcionadas para o desenvolvimento sustentável nacional e internacional ocorrem, principalmente, por meio dos setores da agricultura, da agroindústria e dos que prestam serviços de saneamento básico.

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

Abstract

The article assesses, based on water consumption in Brazil in the years 2010 and 2015, the water footprint, the international trade in virtual water, the determinants of water consumption, as well as the decoupling between water resources and economic growth. There was a high sectoral concentration in the water footprint, a per capita reduction in water consumption and a growing “virtual water” export balance, driven by the agricultural and agribusiness sectors. The decomposition of the sources of growth showed that the economic effect is the main determining factor for the increase in water consumption, while the gains in technological efficiency and the population effect reduce water consumption to a greater extent. A state of strong decoupling between water consumption and economic growth in Brazil was evident, that is, a desirable situation of increasing wealth that is less and less dependent on this natural resource, as the water footprint decreased with the growth of the economy, which reflects huge efficiency gains in water consumption. In general, it was observed that changes aimed at sustainable national and international development occur mainly through the sectors of agriculture, agribusiness and sectors that provide basic sanitation services.

Keywords: input-output; water footprint; sectoral production; environment; natural resources.

JEL:C67, Q25, E23, Q50

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

² Doutor em Economia. Professor Assistente da UPF. Faculdade de Ciências Econômicas Administrativas e Contábeis (UPF/FEAC). Grupo de Pesquisa Economia e Gestão do agronegócio. E-mail: luisbertussi@upf.br, <https://orcid.org/0000-0003-2868-7046>.

³ 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>.

⁴ Instituto Brasileiro de Bioeconomia (INBBIO). Grupo de Pesquisa Bioeconomia Aplicada ao Agronegócio (NEB-Agro) da UFRGS, Brasil. E-mail: gabica14@hotmail.com

1 Introdução

A água é um elemento vital para a humanidade e um insumo indispensável para a produção de alimentos *in natura* e processados, a produção industrial, a geração de energia elétrica e o saneamento básico. Contudo, segundo a Organização das Nações Unidas – ONU (2018), em função do crescimento da população e das atividades econômicas, existe escassez de água no mundo e estima-se que, até 2025, cerca de dois terços da população mundial sofrerão com a falta de água.

Frente ao grave problema de escassez de recursos hídricos, por meio da Agenda 2030 das Nações Unidas, foi adotado o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) para os países: Água Potável e Saneamento (ODS-6) (ONU, 2015). A finalidade é preservar os recursos hídricos para assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e do saneamento para todos (ONU, 2015). Assim, tornam-se urgentes as boas práticas nos processos produtivos, a fim de que otimizem o consumo de água, com respeito ao meio ambiente.

No Brasil, a evolução histórica dos usos da água, nos últimos 70 anos, está diretamente relacionada ao crescimento da população, ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país, que permanentemente pressionam o meio ambiente por maiores volumes de recursos hídricos (ANA, 2018). Embora a água seja um recurso relativamente abundante no país, já que possui as maiores reservas de água doce do planeta (aproximadamente 12%), na economia brasileira 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 maior parte da população brasileira concentra-se nas regiões Sudeste e Nordeste, que, historicamente, sofrem de secas e escassez de água (PENA, 2018).

Apesar do desequilíbrio regional na oferta e na demanda de água, o Brasil, por meio do agronegócio – responsável por 15% das exportações globais de alimentos (WIOD, 2016), tem um papel relevante no fornecimento de recursos hídricos para o mundo. A “água virtual” incorporada nas exportações brasileiras (10.709 hm³/ano), que equivale a quase 50% da pegada hídrica-consumo do país (21.949 hm³/ano), abastece aproximadamente 100,08 milhões de habitantes no mundo com um consumo per capita de 107,66 m³/ano ou de 294,12 litros/dia (MONTROYA, 2020).

Nesse panorama, não é difícil perceber que a desigual distribuição geográfica dos recursos hídricos, o crescimento da população e o desenvolvimento dos diversos setores produtivos da economia brasileira pressionam permanentemente por maiores volumes de água. Para atender à crescente demanda de água e corrigir a distribuição natural das chuvas e dos rios, diversas obras de engenharia foram realizadas 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 Brito (2016), irrigam uma área de um milhão e 275 mil hectares, situando o Brasil entre os dez países com maior área irrigada do planeta. Assim, a expansão da atividade econômica, com estratégias racionais no consumo de recursos hídricos,

atualmente, é uma preocupação importante para o desenvolvimento sustentável da economia brasileira.

Frente a essas evidências, as principais questões que surgem são: Qual é o real consumo setorial de água na economia do Brasil? De que maneira os processos produtivos, a expansão da atividade econômica e o crescimento populacional afetam o consumo de água? Qual é o nível de pressão ambiental que os diversos setores produtivos do país exercem sobre os recursos hídricos?

Para responder a essas questões, a literatura internacional aponta métodos complementares que utilizam unidades de medida ambientais para avaliar o consumo de água, os determinantes do consumo e a dissociação entre recursos hídricos e o crescimento econômico. Dentre esses métodos, destacam-se: a) a pegada hídrica e o comércio internacional de “água virtual”; b) a decomposição das fontes de crescimento; e c) a elasticidade de desacoplamento econômico-ambiental.

O conceito de pegada hídrica, introduzido por Hoekstra (2003), permite mensurar, no sistema econômico, o uso consuntivo de água (água necessária para produzir um produto) ou o consumo de água (água incorporada no produto) de forma direta e indireta nos bens e serviços finais. Para calcular a pegada hídrica nacional e setorial, por exemplo, Dietzenbacher e Velazquez (2007), Zhang, Yang e Shi (2011), Zhi, Yang e Yin (2014), Visentin e Guilhoto (2019) e Montoya (2020) utilizam o modelo insumo-produto ecológico para quantificar, alternativamente, o uso consuntivo e o consumo de água bem como o comércio internacional de água incorporada nas exportações e nas importações. Embora o método insumo-produto evidencie informações relevantes, decorrentes da interação entre a água e as atividades econômicas, ele não consegue facilmente identificar, setorialmente, os fatores determinantes do consumo desse recurso natural.

Complementando a análise de insumo-produto, o índice de divisão da média logarítmica (*Log-Mean Divisia Index – LMDI*) é amplamente usado como um método de decomposição das fontes de crescimento de variáveis econômicas e ambientais, em função de resgatar a singularidade dos componentes do crescimento e apresentar consistência nos resultados. Assim sendo, estudos recentes de Chen *et al.* (2017), Li *et al.* (2017) e Kong *et al.* (2019), por exemplo, ao avaliarem a evolução no consumo de água, identificaram que as mudanças na tecnologia de produção, na escala da atividade econômica e no tamanho da população se constituem como os fatores determinantes do consumo de água. A rigor, as evidências empíricas indicam que o aumento ou a redução do consumo de água no sistema econômico está atrelado, principalmente, à intensidade das atividades socioeconômicas. Portanto, o desafio para o desenvolvimento sustentável traduz-se em como conciliar o crescimento econômico de alta tecnologia com a conservação e a preservação dos recursos hídricos.

Embora o método LMDI permita identificar os fatores determinantes das mudanças no consumo de recursos hídricos, ele não permite medir, quantitativamente, a dissociação entre crescimento econômico e consumo de água (KONG *et al.*, 2019). Assim, com fins de suprir essa carência, o método da elasticidade de desacoplamento desenvolvido por Tapio (2005) é amplamente utilizado para avaliar, com base nas informações geradas pelo método insumo-produto ou por outros métodos, a pressão

ambiental do crescimento econômico. A respeito disso, os trabalhos desenvolvidos por Zhang e Yang (2014), Pan e Chen (2014), Li *et al.* (2017), Wang *et al.* (2018) e Kong *et al.* (2019) utilizam a elasticidade de desacoplamento para avaliar a relação de dissociação entre recursos hídricos e crescimento econômico. Os resultados evidenciaram regionalmente que existem, no mesmo país, diferentes graus de desacoplamento entre o consumo de água e o crescimento econômico. Assim, as informações sugerem que a política de gestão dos recursos hídricos deve ser direcionada de forma sustentável, de acordo com o grau de dissociação que existe em cada região.

Vários estudos sobre a pegada hídrica, associada aos determinantes do consumo e ao descolamento ambiental, em diversos países e regiões, foram identificados na literatura, dentre os quais se destacam os de Li *et al.* (2017), Chen *et al.* (2017) e Kong *et al.* (2019). Entretanto, todos eles abordam o tema de forma agregada a um país ou região. A avaliação setorial, que permitiria identificar as atividades produtivas pelas quais ocorrem as principais mudanças no consumo de água e nos estados de dissociação hídrico-econômico do país, é, de certa forma, negligenciada.

Para a economia brasileira, até onde se sabe, não há nenhum estudo analisando, a partir da pegada hídrica, os fatores que influenciam o consumo de “água virtual” assim como o desacoplamento entre a “água virtual” e o crescimento econômico. Desse modo, ao considerar que o Brasil detém as maiores reservas de água doce do planeta, convive com desequilíbrios regionais de oferta e demanda de água e, simultaneamente, por intermédio de suas exportações, fornece abundantes recursos hídricos para o mundo, este artigo tem como objetivo avaliar o consumo de água e o comércio internacional de água virtual, os fatores determinantes do consumo de água bem como o desacoplamento entre pressão ambiental hídrica e crescimento econômico, tendo como base os dados setoriais da pegada hídrica do país de 2010 e 2015.

O presente estudo avança ao propor uma análise, no âmbito setorial, dos fatores determinantes do consumo de água e do estresse hídrico, ou melhor, uma decomposição setorial dos fatores que influenciam o consumo de água nacional associado à pressão hídrica que cada atividade econômica exerce. Com isso, espera-se, em um primeiro momento, compreender melhor o consumo setorial de água e suas fontes de crescimento, os níveis de pressão ambiental das atividades econômicas sobre os recursos hídricos e fornecer subsídios para que os formuladores de políticas promovam um desenvolvimento econômico sustentável.

Após esta introdução, o presente artigo está dividido da seguinte maneira: na segunda seção, apresentam-se os métodos utilizados para avaliar os recursos hídricos e a base de dados utilizada; na terceira seção, avaliam-se, com indicadores de concentração setorial, os componentes da pegada hídrica e a balança comercial de água virtual; na quarta seção, analisam-se, setorialmente, os determinantes do crescimento no consumo de água; na quinta seção, caracteriza-se, nos setores da economia do Brasil, o grau de desacoplamento entre o consumo de água e o crescimento econômico; e, na última seção, são apresentadas as principais conclusões obtidas no decorrer da análise.

2 Metodologia

Com fins de avaliar as interações entre o consumo de água e as atividades econômicas no Brasil, são apresentados, a seguir, os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa bem como a base de dados utilizada.

2.1 Indicadores insumo-produto sobre a pegada hídrica

No sistema econômico, **o uso total da água** é composto pelo uso consuntivo mais o uso não consuntivo, uma vez que considera toda a água retirada do meio ambiente e das atividades econômicas (reaproveitamento) para ser utilizada pelos setores produtivos e pelas famílias. Entretanto, **o uso consuntivo da água** desconsidera a água utilizada em hidrelétricas, atividades de lazer, pesca e navegação, pois tais usos aproveitam o curso da água sem consumi-la. Já **o consumo total de água** é composto pela parcela da água retirada para uso consuntivo que não retorna ao ambiente, pois, no processo produtivo, foi incorporada nos produtos e consumida pelas famílias e pelos rebanhos (ANA, 2019). Assim, a pegada hídrica, a partir do modelo insumo-produto, pode ser mensurada por meio de duas dimensões ou enfoques: na visão ampliada, como a quantidade de **água consuntiva** usada ou necessária para produzir produtos e serviços finais e, na visão restrita, como a quantidade de água **consumida** ou incorporada na produção de bens e serviços finais (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004).

Tradicionalmente, a pegada hídrica é dimensionada com base no uso consuntivo, como um indicador multidimensional que não se refere somente ao volume, mas também ao tipo de água que foi usada, qual seja: **água verde**, proveniente da chuva e armazenada temporariamente na superfície no solo úmido ou vegetação; **água azul**, constituída pelas águas superficiais (rios, córregos, reservatórios artificiais, lagos e geleiras) e subterrâneas (aquíferos); e **água cinza**, como sendo a quantidade de água necessária para diluir a carga de poluentes ocorrido na atividade produtiva (HOEKSTRA, 2009). Já a pegada hídrica com base no consumo de água refere-se à perda de água que ocorre ao longo dos processos produtivos – quando evapora, retorna a outra bacia ou ao mar ou é incorporada em um produto – e não retorna ao ambiente. Em geral, trata-se do volume de água incorporada nos produtos que poderão ser consumidos no âmbito nacional e internacional (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004). Nos dois casos, segundo Hoekstra (2003, 2009) e Bleninger e Kotsuka (2015), existe uma relação complementar, razão pela qual, na literatura, a pegada hídrica é definida como o volume de “água virtual” usada ou incorporada nos bens e serviços finais.

Certamente, a base de dados usada para avaliar os recursos hídricos dependerá dos objetivos que se desejam alcançar. Assim, para este estudo, que procura avaliar setorialmente os determinantes do consumo de água nos processos produtivos bem como o estresse que causa o crescimento econômico das atividades produtivas sobre os recursos hídricos, optou-se por usar as informações da pegada hídrica, com base no consumo de água. No âmbito setorial, a seguir, as equações (1), (2) e (3) descrevem os componentes da Pegada Hídrica Nacional (PHN) e, na equação (4), os componentes da Balança Comercial.

$$PHN_j = T_j + F_j \quad (1)$$

$$T_j = \delta \times f_j \quad (2)$$

$$F_j = S_j^f + S_j^{in} \quad (3)$$

$$NX_j^{virtual} = u_j - F_j \quad (4)$$

Em termos gerais, na Equação (1), a pegada hídrica nacional (PHN_j) está composta pela pegada hídrica interna (T_j), que considera os recursos hídricos de origem nacional, e a pegada externa (F_j), cujos recursos hídricos são de origem importada. Na Equação (2), a pegada hídrica interna (T_j) é definida pela multiplicação da matriz composta pelo total de coeficientes setoriais de água virtual de origem nacional (δ) com a demanda final doméstica de bens e serviços (f_j). Na Equação (3), a pegada hídrica externa (F_j) é definida como o volume anual de água virtual, importada diretamente para a demanda final doméstica (S_j^f) mais a água virtual importada para o consumo intermediário (S_j^{in}). Já na Equação (4), a balança comercial de água virtual ($NX_j^{virtual}$) está composta pela pegada hídrica da água virtual exportada (u_j) menos a pegada hídrica de água virtual importada (F_j).

Com base nos componentes da pegada hídrica, são descritos, a seguir, alguns indicadores relevantes de concentração que permitem analisar a estrutura setorial da pegada hídrica bem como da balança comercial de água virtual.

$$CSPH_j = (PHS_i / PHN_j) \times 100 \quad (5)$$

$$DPHN_j = (F_j / PHN_j) \times 100 \quad (6)$$

$$APHN_j = (T_j / PHN_j) \times 100 \quad (7)$$

$$CSXH_j = (uS_i / u_j) \times 100 \quad (8)$$

$$CSMH_j = (FS_i / F_j) \times 100 \quad (9)$$

Na Equação (5), a concentração setorial na pegada hídrica, $CSPH_j$, é dada pela participação da pegada setorial na pegada hídrica nacional. Quanto maior esse índice, maior o consumo de água no setor. Na Equação (6), a dependência setorial por importação de água, $DPHN_j$, é definida como a proporção da pegada hídrica externa sobre o total da pegada hídrica setorial. Quanto maior esse índice, maior a dependência por água virtual importada. Na Equação (7), a autossuficiência hídrica setorial, $APHN_j$, é representada como a razão entre a pegada hídrica interna e o total da pegada hídrica. Quanto maior esse índice, mais recursos hídricos internos são usados. Já as Equações (8) e (9) representam a concentração setorial na pegada hídrica de água virtual exportada, $CSXH_j$, e importada, $CSMH_j$, respectivamente. Quanto maior esse índice, maior o comércio de água virtual no setor.

2.2 Decomposição logarítmica do crescimento

Para estabelecer os determinantes do consumo de água no Brasil, o crescimento da pegada hídrica setorial foi decomposto, por intermédio do índice de divisão da média logarítmica (LMDI), em três fatores de influência: a) intensidade ou eficiência técnica; b) escala de produção ou nível de atividade econômica; e c) tamanho da população. A decomposição logarítmica é apresentada na Equação (10).

$$PHN_t = \sum_i PHN_{it} = \sum_i \frac{PHN_{it}}{PIB_{it}} \cdot \frac{PIB_{it}}{P_{it}} \cdot P_{it} = \sum_i EFF_{it} \cdot ECO_{it} \cdot P_{it} \quad (10)$$

PHN_t é a pegada hídrica no ano t , em que setorialmente PHN_{it} , PIB_{it} e P_{it} são, respectivamente, a pegada hídrica, o Produto Interno Bruto (PIB) real e a população no final do ano t . Além disso, EFF_{it} refere-se à intensidade técnica da pegada hídrica setorial, o que indica a quantidade de água virtual necessária para produzir uma unidade monetária de PIB. Quanto maior esse índice, menor será a eficiência no consumo da água.

Considerando que as estatísticas não fornecem a população por setor de produção, nesta pesquisa a população foi definida como o número de trabalhadores de cada setor mais seus dependentes. Assim, ECO_{it} denota, por meio do PIB de cada setor, o impacto da atividade econômica sobre os recursos hídricos. Quanto maior o índice, maior será o impacto da atividade econômica sobre a pegada hídrica. Além disso, P_{it} , que representa o tamanho da população setorial, indica o impacto da população sobre o consumo de água virtual. Portanto, com base na decomposição dos fatores determinantes do consumo de água virtual, a variação total da pegada hídrica (ΔPHN) será determinada na Equação (11) pela somatória do efeito intensidade (ΔEFF), do efeito econômico (ΔECO) e do efeito população (ΔP).

$$\Delta PHN = \Delta EFF + \Delta ECO + \Delta P \quad (11)$$

As Equações (12), (13) e (14) apresentam as operações matemáticas utilizadas para a decomposição do crescimento da pegada hídrica no período.

$$\Delta EFF = \sum_i \frac{PHN_{it} - PHN_{i0}}{\ln PHN_{it} - \ln PHN_{i0}} \cdot \ln \frac{EFF_{it}}{EFF_{i0}} \quad (12)$$

$$\Delta ECO = \sum_i \frac{PHN_{it} - PHN_{i0}}{\ln PHN_{it} - \ln PHN_{i0}} \cdot \ln \frac{ECO_{it}}{ECO_{i0}} \quad (13)$$

$$\Delta P = \sum_i \frac{PHN_{it} - PHN_{i0}}{\ln PHN_{it} - \ln PHN_{i0}} \cdot \ln \frac{P_{it}}{P_{i0}} \quad (14)$$

Cabe salientar que cada componente representa uma mudança da pegada hídrica, enquanto os demais componentes permanecem inalterados ou constantes. Se o valor do componente for positivo, indica que o fator impulsionador promove o aumento da pegada hídrica e, quando o componente for negativo, indica que o fator impulsionador não promove o aumento da pegada hídrica, dado que o fator impulsionador reduz a pressão sobre o meio ambiente.

2.3 Coeficiente de elasticidade-desacoplamento

Para estabelecer os níveis de desacoplamento do meio ambiente com as atividades econômicas, foram utilizados coeficientes de elasticidade entre a pegada hídrica e o crescimento do PIB. Os tipos de desacoplamento dão-se de acordo com três valores críticos das elasticidades, (0), (0,8) e (1,2), sendo divididos, conforme a Tabela 1 e a Figura 1, em oito estados de desacoplamento ou dissociação.

O desacoplamento forte, especificamente, é o estado de dissociação ideal por causa do declínio no consumo de recursos hídricos (redução da pressão ambiental) acompanhada pelo crescimento econômico. Ao contrário, o desacoplamento negativo forte é o pior cenário ambiental, já que indica aumento no consumo de recursos hídricos

com a redução do crescimento econômico, refletindo que o uso de recursos ambientais continua a aumentar durante a crise econômica.

Tabela 1: Critérios de elasticidades para identificar estados de desacoplamento

Tipos de desacoplamento	ΔPHN	ΔPIB	ϵ_x	Estados de desacoplamento
Desacoplamento negativo	> 0	> 0	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento negativo expansivo
	> 0	< 0	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento negativo forte
	< 0	< 0	$(0, 0.8)$	Desacoplamento negativo fraco
Desacoplamento	> 0	> 0	$(0, 0.8)$	Desacoplamento fraco
	< 0	> 0	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
	< 0	< 0	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
Acoplamento	> 0	> 0	$(0.8, 1.2)$	Acoplamento expansivo
	< 0	< 0	$(0.8, 1.2)$	Acoplamento recessivo

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Tapio (2005).

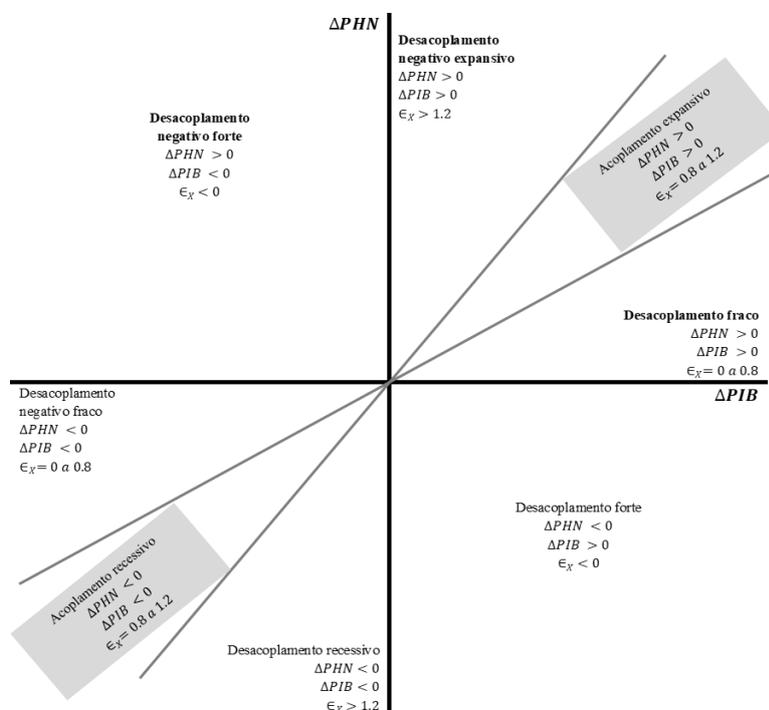


Figura 1: Estados de desacoplamento entre a pegada hídrica e o crescimento econômico.

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Tapio (2005).

O método de desacoplamento considera, de maneira abrangente, a mudança total e a alteração relativa da quantidade. Assim, evita, efetivamente, as limitações da seleção do período base que existem no método tradicional de desacoplamento, o que torna a análise das elasticidades relevante, precisa e mais objetiva. Nesta pesquisa, a avaliação do desacoplamento setorial entre a pegada hídrica e o crescimento econômico, ou melhor, o coeficiente de elasticidade-desacoplamento é definido como a razão entre a taxa de variação do consumo de água (a pressão ambiental) e a taxa de variação de crescimento econômico em um período específico. A fórmula de cálculo é mostrada a seguir:

$$\epsilon_x = \frac{PHN_{t1} - PHN_{t0}}{PHN_{t0}} \bigg/ \frac{PIB_{t1} - PIB_{t0}}{PIB_{t0}} \quad (15)$$

Na Equação (15), ϵ_x indica elasticidade de desacoplamento; PHN refere-se à pegada hídrica; PIB indica a renda do país; e t_0 e t_1 representam o período base e o período atual, respectivamente.

2.4 Base de dados

Os dados utilizados nesta pesquisa foram extraídos das Tabelas de Recursos e Usos da Água (TRUA) do Brasil de 2010 e 2015, estimadas por Montoya (2020) e Montoya e Talamini (2021), com base nos dados das Contas Econômicas Ambientais da Água da Agência Nacional de Águas (ANA, 2018) e o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019). Já os dados monetários utilizados nesta pesquisa foram extraídos das Matrizes de Insumo-Produto (MIP) de 2010 e 2015, fornecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2015, 2018). Trata-se das informações insumo-produto física e monetária disponíveis mais atualizadas que existem para a economia brasileira.

Para a compilação das matrizes, adotou-se o modelo de tecnologia do setor, no qual a hipótese central é de que a tecnologia é uma característica das atividades. Assim, a tecnologia para a produção é determinada pela atividade que os produz. As informações físicas e monetárias apresentam 67 setores. Entretanto, em função dos objetivos desta pesquisa, as atividades econômicas foram agregadas em 33 setores. Os setores da agropecuária, da indústria de transformação e do saneamento básico foram deixados em evidência em função de concentrarem o maior consumo de água do país.

As informações das MIP de 2010 e 2015 estão a preços básicos e em milhões de reais de 2015, com base no deflator do PIB. As informações físicas das TRUA de 2010 e 2015 estão em hectômetros cúbicos (hm³), o que corresponde a um milhão de metros cúbicos (m³) ou um bilhão de litros de água.

3 A pegada hídrica do Brasil e o comércio internacional de água virtual

A fim de avaliar o consumo de água e os fluxos do comércio internacional de “água virtual”, na Tabela 2, a seguir, são apresentados, setorialmente, os componentes da pegada hídrica e da balança comercial da economia brasileira para os anos de 2010 e 2015.

Em termos agregados, observa-se no país que: a) a pegada hídrica nacional diminuiu de 22.342 hm³/ano, em 2010, para 21.949 hm³/ano, em 2015; b) considerando que a população do Brasil, em 2010, foi de 190.732.694 habitantes e, em 2015, passou para 204.450.649 habitantes, verifica-se, a partir da pegada hídrica, que o consumo de água per capita diminuiu de 117 m³/ano para 107 m³/ano, em resumo, na ordem de 10 m³/ano por habitante; c) no comércio internacional, a balança comercial de “água virtual” apresentou um saldo exportador líquido que aumentou no período de 5.246 hm³/ano para 8.605 hm³/ano; e d) o país, cada vez mais, tem um papel relevante no fornecimento de recursos hídricos para o mundo, já que as exportações de água virtual aumentaram de 7.175 hm³/ano para 10.709 hm³/ano, passando a superar de 3,70 para 5,10 vezes as importações de água virtual.

Tabela 2: Composição da pegada hídrica e do comércio internacional de água virtual do Brasil em 2010 e 2015, hm³/ano

MIP ÁGUA 2010-2015 BR – Setor	Ano de 2010						Ano de 2015					
	Pegada hídrica interna (T _j)	Pegada hídrica externa (F _j)	Pegada hídrica nacional (PHN _j)	Exportação de água virtual (u _j)	Importação de água virtual (F _j)	Saldo da balança comercial (NX _j ^{virtual})	Pegada hídrica interna (T _j)	Pegada hídrica externa (F _j)	Pegada hídrica nacional (PHN _j)	Exportação de água virtual (u _j)	Importação de água virtual (F _j)	Saldo da balança comercial (NX _j ^{virtual})
	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano	hm ³ /ano
1 – Agricultura	9.321	481	9.802	4.912	481	4.431	8.462	500	8.962	7.816	500	7.317
2 – Pecuária	4.003	99	4.102	830	99	731	5.271	145	5.416	1.359	145	1.214
3 – Produção florestal; pesca e aquicultura	556	39	594	103	39	65	629	47	677	166	47	119
4 – Indústria extrativa	113	10	124	121	10	111	143	16	159	139	16	123
5 – Abate, produtos de carne, laticínio e pesca	1.031	51	1.082	265	51	214	913	67	980	288	67	221
6 – Fabricação e refino de açúcar	238	6	244	244	6	238	155	5	160	167	5	162
7 – Outros produtos alimentares	856	285	1.141	176	285	-109	686	306	992	194	306	-112
8 – Fabricação de bebidas	55	22	77	4	22	-18	44	20	64	4	20	-15
9 – Fabricação de produtos do fumo	1	4	4	1	4	-3	0	3	3	0	3	-2
10 – Fabricação de produtos têxteis	103	46	149	13	46	-33	51	28	79	9	28	-19
11 – Confeção de vestuário e acessórios	5	30	35	0	30	-30	4	26	30	0	26	-26
12 – Fabricação de calçados e de artefatos de couro	5	8	13	1	8	-7	3	8	10	1	8	-6
13 – Fabricação de produtos da madeira	13	2	15	5	2	3	10	1	11	7	1	6
14 – Fabricação de celulose e papel	35	7	43	18	7	11	20	6	26	16	6	10
15 – Fabricação de biocombustíveis	181	6	187	56	6	50	172	11	183	58	11	47
16 – Refino de petróleo e coquerias	9	73	82	2	73	-71	11	98	109	3	98	-95
17 – Fabricação de químicos e farmacêuticos	102	105	207	30	105	-74	74	122	196	32	122	-90
18 – Fabricação de produtos não-metálicos	127	39	165	22	39	-16	96	27	123	24	27	-3
19 – Produção de ferro, siderurgia e fundição	257	36	294	139	36	103	139	20	159	156	20	136
20 – Fabricação de produtos de metal	22	22	44	4	22	-18	16	17	33	4	17	-12
21 – Fabricação de equipamentos eletrônicos	29	87	116	5	87	-82	19	73	92	4	73	-68
22 – Fabricação de automóveis, peças e acessórios	48	62	110	9	62	-53	23	45	68	7	45	-38
23 – Fabricação de equipamentos de transporte	19	32	51	4	32	-27	14	33	47	5	33	-28
24 – Termoeletrônica, gás natural e outras utilidades	61	17	79	7	17	-10	90	40	130	11	40	-29
25 – Água, esgoto e gestão de resíduos	2.360	48	2408	161	48	113	2.077	47	2.125	192	47	145
26 – Construção	23	49	72	0	49	-48	16	52	68	0	52	-52
27 – Comércio por atacado e a varejo	97	53	149	8	53	-44	94	76	170	10	76	-66
28 – Transporte, armazenamento e correio	23	37	60	5	37	-33	20	42	62	5	42	-38
29 – Informação e comunicação	11	22	33	1	22	-22	7	29	36	1	29	-28
30 – Intermediação financeira, previdência	14	9	23	1	9	-8	12	10	22	1	10	-9
31 – Atividades imobiliárias	7	1	8	0	1	-1	9	2	11	0	2	-2
32 – Administração pública e seguridade social	412	32	444	2	32	-31	337	48	385	2	48	-47
33 – Outras atividades de serviços	275	109	384	24	109	-85	228	133	361	24	133	-109
Total Brasil	20.413	1.929	22.342	7.175	1.929	5.246	19.845	2.103	21.949	10.709	2.103	8.605

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Montoya (2020) e Montoya e Talamini (2021).

Desse modo, considerando que o Brasil possui abundantes recursos hídricos, a redução da pegada hídrica per capita e o crescente saldo exportador no mercado internacional evidenciam, nacionalmente, ganhos de eficiência no consumo de água e, no âmbito internacional, efetiva contribuição, fornecendo volumes crescentes de “água virtual” para fazer frente ao problema global de escassez de recursos hídricos.

Com fins de estabelecer a importância relativa dos setores produtivos no consumo de água e caracterizar os fluxos de água de origem interna e externa, a Tabela 3, que segue, apresenta, para cada setor da economia brasileira, a evolução dos índices de concentração, dependência e autossuficiência da pegada hídrica assim como os índices de concentração na balança comercial de “água virtual” de 2010 e 2015.

Em geral, observa-se que oito setores concentram de 89,3% a 90,7% da pegada hídrica do país, mantendo padrões estruturais similares de consumo, apesar do consumo de água variar de setor para setor, de acordo com a natureza de seus processos produtivos. Por exemplo, no período, o setor Agricultura concentrou de 43,9% a 40,8% o consumo de água do país; o setor Pecuário, de 18,4% a 24,7%; e o setor Água, esgoto e gestão de resíduos, de 10,8% a 9,7%. Os resultados evidenciam que as atividades que envolvem a produção de alimentos e os serviços de saneamento demandam grandes volumes de água do meio ambiente. Em um segundo patamar, a concentração da pegada hídrica no período é relevante no setor Outros produtos alimentares (de 5,1% a 4,5%), no setor Abate e produtos de carne (de 4,8% a 4,5%), no setor Produção florestal (de 2,7% a 3,1%), no setor Administração pública e seguridade social (de 2,0% a 1,8%) e no setor Outras atividades de serviços (de 1,7% a 1,6%). Os 25 setores restantes da economia apresentam participação média na pegada hídrica, no período, abaixo de 1%. Assim, por conta da elevada concentração do consumo de água em oito setores, qualquer mudança tecnológica em suas pegadas hídricas impactará, em grande medida, a pegada da economia nacional.

Nesse panorama, considerando que a pegada hídrica nacional está composta por água de origem nacional e importada, verifica-se, na economia brasileira, uma autossuficiência elevada referente a recursos hídricos. Dessa forma, a água de origem nacional ou a pegada hídrica interna, nos anos de 2010 e 2015, responde por 91,4% e 90,4% da pegada hídrica total do país.

No âmbito setorial, dentre as atividades que concentram os maiores volumes de água consumida, os setores que compreendem a Agropecuária e Florestas se destacam por apresentarem autossuficiência e média, no período, de 95,2%; desse modo, apresentam um abastecimento de água de origem nacional acima da média do país (90,0%).

Na agroindústria, o setor Abate, produtos de carne, laticínio e pesca apresenta também padrões elevados de autossuficiência no abastecimento de água, na ordem de 95,3% e 93,1%. Entretanto, observa-se no setor Outros produtos alimentares elevado consumo de água importada, na medida em que o índice de dependência no período varia de 25,0% a 30,8%. Esse fato evidencia que os insumos importados para a produção de diversos alimentos e os alimentos importados destinados para a demanda final incorporam grandes volumes de água.

Tabela 3: Índices de avaliação da pegada hídrica e do comércio internacional de água virtual do Brasil em 2010 e 2015

MIP ÁGUA 2010-2015 BR – Setor	Concentração setorial na pegada hídrica (PSH_i/PHN_j) percentual		Dependência por importações (F_j/PHN_j) percentual		Autossuficiência (T_j/PHN_j) percentual		Concentração setorial na exportação de água virtual (uS_i/u_j) percentual		Concentração setorial na importação de água virtual (FS_i/F_j) percentual	
	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015	2010	2015
	1 – Agricultura	43,9	40,8	4,9	5,6	95,1	94,4	68,5	73,0	24,9
2 – Pecuária	18,4	24,7	2,4	2,7	97,6	97,3	11,6	12,7	5,1	6,9
3 – Produção florestal; pesca e aquicultura	2,7	3,1	6,5	7,0	93,5	93,0	1,4	1,6	2,0	2,3
4 – Indústria extrativa	0,6	0,7	8,3	9,9	91,7	90,1	1,7	1,3	0,5	0,7
5 – Abate, produtos de carne, laticínio e pesca	4,8	4,5	4,7	6,9	95,3	93,1	3,7	2,7	2,6	3,2
6 – Fabricação e refino de açúcar	1,1	0,7	2,5	3,3	97,5	96,7	3,4	1,6	0,3	0,3
7 – Outros produtos alimentares	5,1	4,5	25,0	30,8	75,0	69,2	2,5	1,8	14,8	14,5
8 – Fabricação de bebidas	0,3	0,3	28,4	31,0	71,6	69,0	0,1	0,0	1,1	0,9
9 – Fabricação de produtos do fumo	0,0	0,0	82,2	87,1	17,8	12,9	0,0	0,0	0,2	0,1
10 – Fabricação de produtos têxteis	0,7	0,4	30,9	35,2	69,1	64,8	0,2	0,1	2,4	1,3
11 – Confeção de vestuário e acessórios	0,2	0,1	85,8	88,2	14,2	11,8	0,0	0,0	1,6	1,3
12 – Fabricação de calçados e de artefatos de couro	0,1	0,0	64,5	73,5	35,5	26,5	0,0	0,0	0,4	0,4
13 – Fabricação de produtos da madeira	0,1	0,0	11,5	8,4	88,5	91,6	0,1	0,1	0,1	0,0
14 – Fabricação de celulose e papel	0,2	0,1	17,1	24,4	82,9	75,6	0,2	0,2	0,4	0,3
15 – Fabricação de biocombustíveis	0,8	0,8	3,5	6,0	96,5	94,0	0,8	0,5	0,3	0,5
16 – Refino de petróleo e coquerias	0,4	0,5	88,9	90,1	11,1	9,9	0,0	0,0	3,8	4,6
17 – Fabricação de químicos e farmacêuticos	0,9	0,9	50,5	62,1	49,5	37,9	0,4	0,3	5,4	5,8
18 – Fabricação de produtos não-metálicos	0,7	0,6	23,4	22,2	76,6	77,8	0,3	0,2	2,0	1,3
19 – Produção de ferro, siderurgia e fundição	1,3	0,7	12,4	12,8	87,6	87,2	1,9	1,5	1,9	1,0
20 – Fabricação de produtos de metal	0,2	0,2	49,5	50,3	50,5	49,7	0,1	0,0	1,1	0,8
21 – Fabricação de equipamentos eletrônicos	0,5	0,4	75,3	79,2	24,7	20,8	0,1	0,0	4,5	3,5
22 – Fabricação de automóveis, peças e acessórios	0,5	0,3	56,2	66,4	43,8	33,6	0,1	0,1	3,2	2,2
23 – Fabricação de equipamentos de transporte	0,2	0,2	62,7	70,0	37,3	30,0	0,1	0,0	1,6	1,6
24 – Termoeletrica, gás natural e outras utilidades	0,4	0,6	22,1	31,0	77,9	69,0	0,1	0,1	0,9	1,9
25 – Água, esgoto e gestão de resíduos	10,8	9,7	2,0	2,2	98,0	97,8	2,2	1,8	2,5	2,3
26 – Construção	0,3	0,3	67,6	76,8	32,4	23,2	0,0	0,0	2,5	2,5
27 – Comércio por atacado e a varejo	0,7	0,8	35,4	44,5	64,6	55,5	0,1	0,1	2,7	3,6
28 – Transporte, armazenamento e correio	0,3	0,3	62,1	68,0	37,9	32,0	0,1	0,0	1,9	2,0
29 – Informação e comunicação	0,1	0,2	66,9	80,1	33,1	19,9	0,0	0,0	1,1	1,4
30 – Intermediação financeira, previdência	0,1	0,1	41,1	46,7	58,9	53,3	0,0	0,0	0,5	0,5
31 – Atividades imobiliárias	0,0	0,0	13,2	16,2	86,8	83,8	0,0	0,0	0,1	0,1
32 – Administração pública e seguridade social	2,0	1,8	7,3	12,6	92,7	87,4	0,0	0,0	1,7	2,3
33 – Outras atividades de serviços	1,7	1,6	28,3	36,8	71,7	63,2	0,3	0,2	5,6	6,3
Total Brasil	100,0	100,0	8,6	9,6	91,4	90,4	100,0	100,0	100,0	100,0

Fonte: Elaborada pelos autores com base em Montoya (2020) e Montoya e Talamini (2021).

Já nas atividades que fornecem serviços, destaca-se o setor Água, esgoto e gestão de resíduos por apresentar os maiores índices de autossuficiência do país. O consumo de água de origem nacional responde por 98,0% e 97,8% da pegada hídrica do setor, evidenciando que as atividades de saneamento básico requerem, majoritariamente, da água local.

Quanto ao comércio internacional de “água virtual”, se considerar o consumo de água per capita do Brasil e extrapolá-lo para a balança comercial, observa-se, em 2010, que as exportações de água virtual abasteciam 61,32 milhões de habitantes no mundo ($7.175 \text{ hm}^3/\text{ano} \div 117 \text{ m}^3/\text{ano} = 61,32$). Em 2015, as exportações cresceram de tal maneira que chegaram a abastecer 100,08 milhões de habitantes ($10.709 \text{ hm}^3/\text{ano} \div 107 \text{ m}^3/\text{ano} = 100,08$), com um consumo per capita de $117 \text{ m}^3/\text{ano}$ e $107 \text{ m}^3/\text{ano}$, respectivamente. Nesse sentido, segundo Montoya (2020), as exportações líquidas da balança comercial ($8.605 \text{ hm}^3/\text{ano}$), em 2015, representam o consumo de água virtual de 80,4 milhões de habitantes, sendo equivalente a aproximadamente 7,70 vezes a população de Portugal (10.311.000 habitantes), ou 1,20 vezes a população do Reino Unido (65.081.276 habitantes) e quase a totalidade da população da Alemanha (81.276.000 habitantes).

Frente a esse fato e considerando que, no comércio de água virtual, os setores da Agricultura, da Pecuária, da Produção florestal, do Abate e produtos de carne, da Fábrica e refino de açúcar e de Outros produtos alimentares, além de concentrarem, em conjunto, de 91,0% a 93,3% das exportações do país, ainda aumentaram em 53,0% o volume de água virtual exportada no período de $6.530 \text{ hm}^3/\text{ano}$, em 2010, para $9.991 \text{ hm}^3/\text{ano}$, em 2015. Esses resultados revelam que os setores da agropecuária e da agroindústria se constituem nos principais canais pelos quais a economia brasileira contribui significativamente com recursos hídricos e para o bem-estar da população mundial. Mais relevante torna-se o resultado encontrado quando se considera que, no mercado de alimentos global, as exportações brasileiras respondem por 15% do comércio internacional de alimentos, conforme as estatísticas da matriz insumo-produto mundial (WIOD, 2019).

4 Determinantes do crescimento setorial no consumo de água virtual

Com base no método LMDI, o crescimento total da pegada hídrica setorial foi decomposto em eficiência técnica, nível de atividade econômica e efeito população. Os resultados para a economia brasileira e para cada setor são apresentados na Tabela 4 a seguir.

O efeito total indica que a pegada hídrica do Brasil diminuiu no período em $-394 \text{ hm}^3/\text{ano}$. A consistência dos cálculos pode ser verificada somando a linha ou a coluna dos totais bem como pela evolução da pegada hídrica no período ($22.342 \text{ hm}^3/\text{ano} - 21.949 \text{ hm}^3/\text{ano} = -394 \text{ hm}^3/\text{ano}$), que coincide com o efeito total dos determinantes do consumo. A identificação dos fatores que conduziram essa mudança é relevante para identificar a economia de água na produção brasileira e a sua contribuição para a sustentabilidade no uso desse recurso.

Os resultados agregados evidenciam, no Brasil, que o desenvolvimento de tecnologias que economizam água na produção se mostra como um fator decisivo para o

consumo sustentável dos recursos hídricos, na medida em que o efeito eficiência reduziu a pegada hídrica no período em $-2.427 \text{ hm}^3/\text{ano}$. Além disso, o efeito populacional negativo evidencia que o consumo da população também reduz a pressão sobre o meio ambiente em $-1.525 \text{ hm}^3/\text{ano}$. Simultaneamente, observa-se que o desenvolvimento da atividade econômica, dinamizada pelo aumento do consumo de bens e serviços, desempenha um papel significativo na demanda por maiores volumes de água. O efeito econômico positivo, em função da maior escala de produção, promoveu, no período, o aumento da pegada hídrica em $3.558 \text{ hm}^3/\text{ano}$.

As informações agregadas do país permitem afirmar, portanto, que o impacto da atividade econômica (efeito econômico) é o fator determinante para o aumento da pegada hídrica, enquanto as mudanças tecnológicas na produção com respeito ao meio ambiente (efeito eficiência) assim como o consumo da população (efeito população) tendem significativamente para um desenvolvimento ambiental sustentável.

Nesse contexto, a questão que se torna relevante responder é: Por meio de que setores os determinantes do consumo de água promovem mudanças significativas na pegada hídrica do Brasil? Lembrando que, no modelo insumo-produto, cada setor representa uma função de produção que produz um único produto, o efeito eficiência, o efeito econômico e o efeito populacional na pegada setorial, associados à concentração média no consumo de água no período, permitem identificar, de forma sistêmica, os setores que promovem as principais mudanças na pegada hídrica brasileira.

Conforme a Tabela 4, os oito setores que concentram, em média, 90,1% da pegada hídrica do Brasil são organizados em: a) dois setores: Pecuária e Produção florestal – aumentaram o consumo de água indicando maior intensidade no consumo de recursos hídricos em seus processos produtivos; b) seis setores: Agricultura, Abate e produtos de carne, Outros produtos alimentares, Água, esgoto e gestão de resíduos, Administração pública e seguridade social e Outras atividades de serviços – reduziram o consumo de água assinalando menos intensidade hídrica em seus processos produtivos.

No grupo de setores que intensificou o consumo de água está a produção do setor Pecuário, que concentra em média 21,5% da pagada hídrica do país e apresenta o maior crescimento setorial ($1.314 \text{ hm}^3/\text{ano}$), impulsionado pela perda de eficiência tecnológica ($893 \text{ hm}^3/\text{ano}$) e pelo aumento da atividade econômica ($1.156 \text{ hm}^3/\text{ano}$), o que representa, em conjunto, um aumento no consumo de $2.049 \text{ hm}^3/\text{ano}$. Embora houvesse redução no consumo de água por conta da eficiência populacional ($-735 \text{ hm}^3/\text{ano}$), esse efeito não compensou o efeito tecnológico e econômico. No setor Produção florestal, pesca e aquicultura, que concentra em média 2,9% da pegada nacional, a decomposição do crescimento apresenta as mesmas tendências do setor Pecuário, mas com menor intensidade. Certamente, o aprimoramento de seus processos produtivos, que promove o crescimento econômico e a redução da intensidade no consumo de água, torna-se uma estratégia necessária.

No grupo de setores que reduziu o consumo de água, verifica-se na pegada do setor Agricultura, que concentra em média 42,4% do consumo nacional, uma redução líquida no consumo de $-841 \text{ hm}^3/\text{ano}$. Embora no período tenha ocorrido aumento no consumo de água em $2.199 \text{ hm}^3/\text{ano}$, promovido pela aceleração de sua atividade econômica, a redução no consumo de água por conta da eficiência tecnológica (-1.889

hm³/ano) e da eficiência populacional (-1.151 hm³/ano) mais que compensou o efeito econômico, fazendo com que o efeito total na pegada agrícola diminuísse o consumo de água no período.

Tabela 4: Decomposição do crescimento da pegada hídrica setorial na economia brasileira em 2010 e 2015, hm³/ano

MIP ÁGUA BR – Setor	Concentração setorial média da pegada hídrica (PSH_t/PHN_t) percentual	Determinantes do crescimento			
		Efeito Eficiência (hm ³ /ano)	Efeito Econômico (hm ³ /ano)	Efeito População (hm ³ /ano)	Efeito Total (hm ³ /ano)
1 – Agricultura	42,4	-1.889	2.199	-1.151	-841
2 – Pecuária	21,5	893	1.156	-735	1.314
3 – Produção florestal; pesca e aquicultura	2,9	11	100	-29	82
4 – Indústria extrativa	0,6	87	-67	15	35
5 – Abate, produtos de carne, laticínio e pesca	4,7	-394	113	180	-101
6 – Fabricação e refino de açúcar	0,9	42	-86	-40	-84
7 – Outros produtos alimentares	4,8	-354	62	143	-150
8 – Fabricação de bebidas	0,3	-6	-21	15	-13
9 – Fabricação de produtos do fumo	0,0	-1	-1	0	-1
10 – Fabricação de produtos têxteis	0,5	-51	-22	3	-70
11 – Confeção de vestuário e acessórios	0,1	3	-8	0	-5
12 – Fabricação de calçados e de artefatos de couro	0,1	-1	0	-2	-2
13 – Fabricação. de produtos da madeira	0,1	-1	-1	-2	-4
14 – Fabricação de celulose e papel	0,2	-17	-1	2	-16
15 – Fabricação de biocombustíveis	0,8	-23	-22	41	-4
16 – Refino de petróleo e coqueiras	0,4	-14	41	0	26
17 – Fabricação de químicos e farmacêuticos	0,9	-8	2	-4	-11
18 – Fabricação de produtos não-metálicos	0,7	-19	-29	5	-43
19 – Produção de ferro, siderurgia e fundição	1,0	-128	11	-17	-134
20 – Fabricação de produtos de metal	0,2	-3	-7	-1	-11
21 – Fabricação de equipamentos eletrônicos	0,5	0	-17	-7	-24
22 – Fabricação de automóveis, peças e acessórios	0,4	28	-55	-14	-41
23 – Fabricação de equipamentos de transporte	0,2	1	-4	-1	-4
24 – Termoeletrica, gás natural e outras utilidades	0,5	68	-27	11	51
25 – Água, esgoto e gestão de resíduos	10,2	-450	233	-66	-283
26 – Construção	0,3	-3	-10	9	-4
27 – Comércio por atacado e a varejo	0,7	1	5	14	21
28 – Transporte, armazenamento e correio	0,3	-3	-3	9	2
29 – Informação e comunicação	0,2	5	-7	5	3
30 – Intermediação financeira, previdência	0,1	-3	-1	3	-1
31 – Atividades imobiliárias	0,0	0	0	2	2
32 – Administração pública e seguridade social	1,9	-110	13	37	-59
33 – Outras atividades de serviços	1,7	-88	12	53	-23
Total Brasil	100,0	-2.427	3.558	-1.525	-394

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

Considerando que as atividades da agricultura concentram grande parte da pegada hídrica do país, essas evidências são da maior relevância tanto para a economia quanto para o meio ambiente. Em particular, os ganhos de eficiência tecnológica estão associados à modernização da agricultura brasileira que avançou no melhoramento genético de plantas com cultivares de maior rendimento e ciclos de produção mais curtos, no desenvolvimento do sistema de plantio direto na palha, na seleção de plantas com menor estatura e raízes maiores, promovendo maior eficiência na absorção de água (FLOSS, 2020). Todos esses incrementos tecnológicos resultaram no consumo de menores volumes de água no setor agrícola.

De forma complementar, devido à infraestrutura desenvolvida no país para minimizar a irregular distribuição natural das chuvas e dos rios, foram construídos

reservatórios artificiais e obras como a transposição do rio São Francisco, destinada para a irrigação artificial de áreas do semiárido ou para o saneamento básico daquela região (BRITO, 2016; PIVOTO *et al.*, 2018; PIVOTO *et al.*, 2019; CARRER; DE SOUZA FILHO; BATALHA, 2017). Outrossim, a mecanização das atividades produtivas na agricultura e o movimento migratório do campo para a cidade, certamente, promoveram ganhos de eficiência no consumo de água por conta do efeito da população.

Na agroindústria brasileira, o setor Abate, produtos de carne, laticínio e pesca (-101 hm³/ano) e o setor Outros produtos alimentares (-150 hm³/ano) reduziram sua pegada hídrica. Esse fato deu-se em virtude dos ganhos de eficiência tecnológica em seus processos produtivos de -394 hm³/ano e -354 hm³/ano, respectivamente.

Já dentre os serviços, o setor Água, esgoto e gestão de resíduos, que concentra em média 10,2% da pegada hídrica nacional, destaca-se por uma redução total no consumo de água de -283 hm³/ano. A menor pressão por recursos hídricos deve-se, principalmente, aos ganhos de eficiência tecnológica que reduziram em 450 hm³/ano a pegada hídrica do setor, e em menor ênfase ao efeito população que diminuiu o consumo de água em -66 hm³/ano. Registra-se que, segundo a Organização e Sistemas – EOS (2019), somente 83,3% dos brasileiros têm acesso à água tratada e 43% da população vive em cidades sem rede de esgoto. 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, portanto, a toda a população. Apesar disso, os ganhos de eficiência tecnológica e o efeito população evidenciam melhoras significativas no consumo de água nessas atividades de saneamento. As possibilidades de maiores investimentos no setor, advindas do Marco Legal do Saneamento Básico – Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020 (BRASIL, 2020), permitirão que se ampliem os serviços de saneamento para toda a população, podendo aumentar ainda mais a eficiência no consumo de água.

Em geral, verifica-se, por um lado, que o aumento do consumo de água no Brasil se dá principalmente pelo aumento da atividade econômica nos setores da agropecuária (2.199 hm³/ano + 1.156 hm³/ano + 100 hm³/ano), da agroindústria (113 hm³/ano + 62 hm³/ano) e dos serviços de saneamento básico (233 hm³/ano). Por outro lado, as informações sugerem que a redução da pegada hídrica nacional se deve ao desenvolvimento de tecnologias que economizam água, especialmente no setor Agropecuário, por meio da tecnologia de irrigação mais avançada (-1.889 hm³/ano), da construção de reservatórios artificiais para o setor de saneamento básico (-450 hm³/ano), bem como da rígida legislação do uso de recursos hídricos no setor Abate, produtos de carne, laticínio e pesca (-394 hm³/ano) e no setor Outros produtos alimentares (-354 hm³/ano) que, segundo Brito (2016), vem melhorando a eficiência no consumo água. Os maiores ganhos de eficiência tecnológica, no Brasil, estão, portanto, ocorrendo na produção de alimentos *in natura*, de alimentos processados e na prestação de serviços de saneamento básico.

5 Desacoplamento entre a pegada hídrica e o PIB setorial

Considerando a hipótese na qual o consumo de recursos hídricos está intimamente correlacionado com as atividades econômicas, torna-se necessário quantificar a relação entre pressão ambiental hídrica e crescimento econômico, com o objetivo de identificar o nível de dissociação que existe entre eles na economia brasileira.

A Tabela 5, a seguir, apresenta a evolução do PIB real e da pegada hídrica nos anos de 2010 e 2015. Observa-se, nesse período, trajetórias diferentes entre a atividade econômica e o consumo de água. Enquanto o PIB do país cresceu a uma taxa de 1,4% ao ano, a pegada hídrica apresentou um crescimento negativo de -0,4% ao ano. Essa evidência indica que, nos últimos anos, a eficiência no consumo de água melhorou no Brasil.

Tabela 5: PIB e pegada hídrica setorial do Brasil de 2010 e 2015, em milhões de reais e em hm³/ano

MIP ÁGUA BR – Setor	Evolução do PIB			Evolução da PHN		
	2010	2015	Taxa de crescimento a.a. percentual	2010	2015	Taxa de crescimento a.a. percentual
1 – Agricultura	145.872	163.127	2,2	9.802	8.962	-1,8
2 – Pecuária	65.370	71.449	1,8	4.102	5.416	5,6
3 – Produção florestal; pesca e aquicultura	21.795	24.391	2,3	594	677	2,6
4 – Indústria extrativa	160.230	110.769	-7,4	124	159	5,0
5 – Abate, produtos de carne, laticínio e pesca	30.379	40.377	5,7	1.082	980	-2,0
6 – Fabricação e refino de açúcar	13.908	7.388	-12,7	244	160	-8,4
7 – Outros produtos alimentares	40.048	48.541	3,8	1.141	992	-2,8
8 – Fabricação de bebidas	25.097	22.923	-1,8	77	64	-3,6
9 – Fabricação de produtos do fumo	5.238	4.258	-4,1	4	3	-8,2
10 – Fabricação de produtos têxteis	15.955	13.375	-3,5	149	79	-12,7
11 – Confecção de vestuário e acessórios	32.096	24.929	-5,1	35	30	-3,2
12 – Fabricação de calçados e de artefatos de couro	15.377	13.536	-2,6	13	10	-4,0
13 – Fabricação de produtos da madeira	12.438	9.840	-4,7	15	11	-6,9
14 – Fabricação de celulose e papel	22.343	22.787	0,4	43	26	-9,8
15 – Fabricação de biocombustíveis	7.825	8.680	2,1	187	183	-0,4
16 – Refino de petróleo e coqueiras	23.793	36.427	8,5	82	109	5,6
17 – Fabricação de químicos e farmacêuticos	73.030	72.078	-0,3	207	196	-1,1
18 – Fabricação de produtos não-metálicos	63.632	53.827	-3,3	165	123	-6,0
19 – Produção de ferro, siderurgia e fundição	35.262	34.302	-0,6	294	159	-12,2
20 – Fabricação de produtos de metal	42.840	34.302	-4,4	44	33	-5,8
21 – Fabricação de equipamentos eletrônicos	86.703	68.395	-4,7	116	92	-4,7
22 – Fabricação de automóveis, peças e acessórios	90.436	40.826	-15,9	110	68	-9,5
23 – Fabricação de equipamentos de transporte	72.966	65.626	-2,1	51	47	-1,5
24 – Termoeletrônica, gás natural e outras utilidades	100.348	85.454	-3,2	79	130	10,1
25 – Água, esgoto e gestão de resíduos	35.037	37.718	1,5	2.408	2.125	-2,5
26 – Construção	301.513	296.018	-0,4	72	68	-1,2
27 – Comércio por atacado e a varejo	606.487	685.715	2,5	149	170	2,6
28 – Transporte, armazenamento e correio	206.413	226.501	1,9	60	62	0,8
29 – Informação e comunicação	195.339	184.400	-1,2	33	36	1,5
30 – Intermediação financeira, previdência	327.208	365.277	2,2	23	22	-0,5
31 – Atividades imobiliárias	399.857	498.884	4,4	8	11	4,8
32 – Administração pública e seguridade social	783.694	885.587	2,4	444	385	-2,9
33 – Outras atividades de serviços	754.039	897.894	3,5	384	361	-1,2
Total Brasil	4.812.569	5.155.601	1,4	22.342	21.949	-0,4

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

No âmbito setorial, dentre os oito setores que mais concentram a pegada hídrica, a trajetória inversa entre crescimento do PIB e decréscimo da pegada hídrica está presente nos setores de produção de alimentos *in natura* e processados (setor Agricultura; setor Abate, produtos de carne, laticínio e pesca; e setor Outros produtos alimentares) e de serviços de saneamento, administração pública e privada (setor Água, esgoto e gestão de resíduos; setor Administração pública e seguridade social; e setor

Outras atividades de serviços). Esses setores, por concentrarem em média 65,6% do consumo de água no país, caracterizam em grande parte o consumo eficiente de água que vem ocorrendo no Brasil. Desse modo, evidencia-se o protagonismo do crescimento econômico acelerado com respeito ao meio ambiente na economia brasileira sendo determinado, principalmente, pela produção de alimentos e pela melhora dos serviços de saneamento e dos serviços em geral.

Uma análise mais detalhada entre crescimento econômico e consumo de água pode ser implementada por meio das informações da Tabela 6 a seguir, que apresentam, para o país e para cada setor, o estado de desacoplamento entre economia e meio ambiente. O desacoplamento demonstra quanto o crescimento da economia excede a taxa de crescimento do uso de um recurso escasso. Assim sendo, ele permite avaliar em que situações a produtividade dos recursos escassos está aumentando e de que maneira seus impactos nos ecossistemas ameaçam ou não sua estabilidade no futuro.

Tabela 6: Estados de desacoplamento da pegada hídrica setorial na economia brasileira em 2010 e 2015

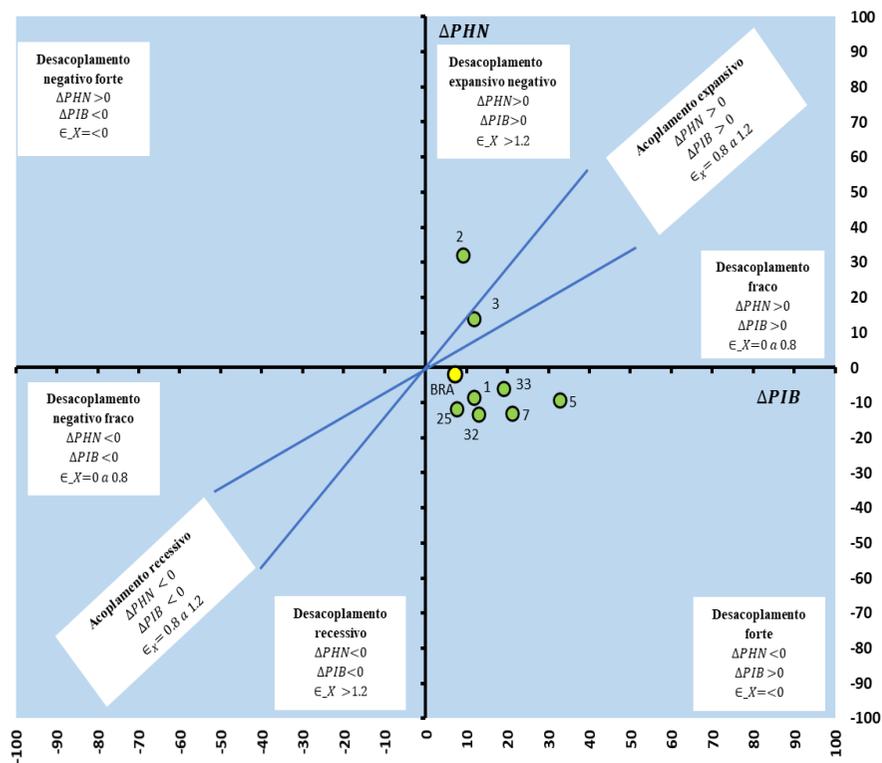
MIP ÁGUA BR – Setor	ΔPHN	ΔPIB	ϵ_x	Parâmetro de referência ϵ_x	Estados de desacoplamento
1 – Agricultura	-	+	-0,7	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
2 – Pecuária	+	+	3,4	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento negativo expansivo
3 – Produção florestal; pesca e aquicultura	+	+	1,2	$(0.8, 1.2)$	Acoplamento expansivo
4 – Indústria extrativa	+	-	-0,9	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento negativo forte
5 – Abate, produtos de carne, laticínio e pesca	-	+	-0,3	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
6 – Fáb. e refino de açúcar	-	-	0,7	$(0, 0.8)$	Desacoplamento negativo fraco
7 – Outros produtos alimentares	-	+	-0,6	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
8 – Fabricação de bebidas	-	-	1,9	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
9 – Fabricação de produtos do fumo	-	-	1,8	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
10 – Fabricação de produtos têxteis	-	-	2,9	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
11 – Confeção de vestuário e acessórios	-	-	0,7	$(0, 0.8)$	Desacoplamento negativo fraco
12 – Fabricação de calçados e de artefatos de couro	-	-	1,5	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
13 – Fabricação de produtos da madeira	-	-	1,4	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
14 – Fabricação de celulose e papel	-	+	-19,4	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
15 – Fabricação de biocombustíveis	-	+	-0,2	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
16 – Refino de petróleo e coquerias	+	+	0,6	$(0, 0.8)$	Desacoplamento fraco
17 – Fabricação de químicos e farmacêuticos	-	-	4,0	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
18 – Fabricação de produtos não-metálicos	-	-	1,7	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
19 – Produção de ferro, siderurgia e fundição	-	-	16,8	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
20 – Fabricação de produtos de metal	-	-	1,3	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
21 – Fabricação de equipamentos eletrônicos	-	-	1,0	$(0.8, 1.2)$	Acoplamento recessivo
22 – Fabricação de automóveis, peças e acessórios	-	-	0,7	$(0, 0.8)$	Desacoplamento negativo fraco
23 – Fabricação de equipamentos de transporte	-	-	0,7	$(0, 0.8)$	Desacoplamento negativo fraco
24 – Termoelétrica, gás natural e outras utilidades	+	-	-4,4	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento negativo forte
25 – Água, esgoto e gestão de resíduos	-	+	-1,5	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
26 – Construção	-	-	3,1	$(1.2, +\infty)$	Desacoplamento recessivo
27 – Comércio por atacado e a varejo	+	+	1,1	$(0.8, 1.2)$	Acoplamento expansivo
28 – Transporte, armazenamento e correio	+	+	0,4	$(0, 0.8)$	Desacoplamento fraco
29 – Informação e comunicação	+	-	-1,4	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento negativo forte
30 – Intermediação financeira, previdência	-	+	-0,2	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
31 – Atividades imobiliárias	+	+	1,1	$(0.8, 1.2)$	Acoplamento expansivo
32 – Administração pública e seguridade social	-	+	-1,0	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
33 – Outras atividades de serviços	-	+	-0,3	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte
Total Brasil	-	+	-0,2	$(-\infty, 0)$	Desacoplamento forte

Fonte: Elaborada pelos autores com base nos dados da pesquisa.

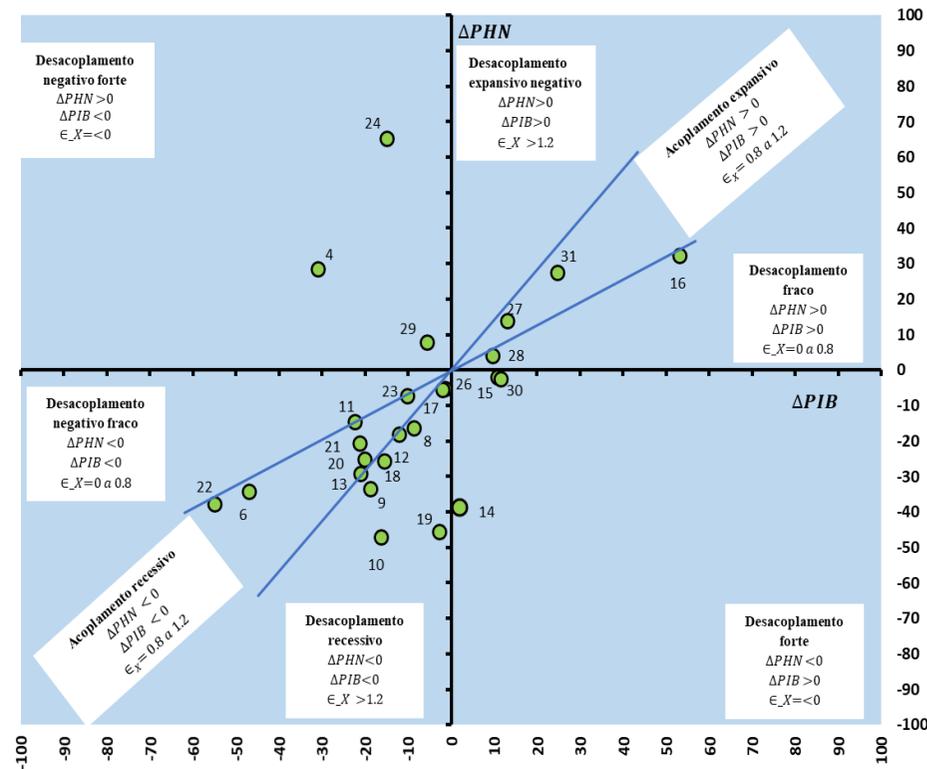
A intensidade existente entre o consumo de água e o crescimento econômico é demonstrado pela elasticidade do desacoplamento, a qual apresenta diversos estágios de dissociação. Por exemplo, o **desacoplamento forte** é o estado ideal da convivência econômica-ambiental, pois a pegada hídrica diminui com o crescimento da economia, o que reflete enormes ganhos de eficiência no consumo de água. O **desacoplamento fraco** é uma situação plausível em que a economia e a pegada hídrica apresentam, simultaneamente, trajetórias crescentes. Entretanto, a taxa de crescimento da economia é maior que a taxa de crescimento da pegada hídrica, evidenciando melhoria no consumo de água. No outro extremo, localiza-se o **desacoplamento negativo forte**, indicando que a pegada hídrica está crescendo enquanto a economia diminui, ou melhor, o consumo de água aumenta durante a crise econômica, o que denota o pior cenário possível entre a economia e o meio ambiente.

Cabe salientar que a **associação do estado de desacoplamento** (Tabela 6) **com os determinantes do consumo de água** (Tabela 4) permitem qualificar, nacional e setorialmente, os estados de dissociação hídrico-econômico. Assim sendo, o estado de dissociação entre pegada hídrica e PIB, no período de 2010 e 2015, evidencia na economia brasileira um estado de **desacoplamento forte**, o que indica que a pegada hídrica nacional diminuiu enquanto o PIB cresceu. É possível afirmar, por conseguinte, que, nos processos produtivos do país, ocorreu o desenvolvimento de tecnologias eficientes no consumo de água. Essa evidência ideal de ganho econômico e ambiental é corroborada pelo efeito eficiência (-2.427 hm³) e pelo efeito populacional (-1.525 hm³) como determinantes para um menor consumo de água no Brasil (Tabela 4).

No âmbito setorial, na Figura 2 que segue, são demonstrados os diversos estágios de dissociação dos setores do país, com destaque aos oito setores que concentram no período, em média 91,1% do consumo de água no Brasil e, em decorrência, promovem as principais mudanças entre a pegada hídrica nacional e o crescimento do PIB. Verifica-se que dentre os setores que mais consomem recursos hídricos no país, seis setores (Agricultura; Abate, produtos de carne, laticínio e pesca; Outros produtos alimentares; Água, esgoto e gestão de resíduos; Administração pública e seguridade social; e Outras atividades de serviços) apresentam o estado de desacoplamento forte. Essa evidência é de maior relevância, principalmente, para a produção agrícola e a produção de alimentos processados destinados à exportação como um atributo de respeito ao meio ambiente. Parte da explicação para o desacoplamento forte pode ser encontrada no efeito eficiência que permitiu menor consumo de água nas atividades agrícolas. Outro elemento que contribuiu com o desacoplamento forte foi o efeito população que indicou menor consumo de água em função da redução da população rural no período (Tabela 4).



Brasil e oito setores que concentram 90,1% da pegada hídrica



Demais setores que concentração 9,9% da pegada hídrica

Figura 2: Estados de desacoplamento setorial entre a pegada hídrica e o crescimento econômico na economia brasileira nos anos de 2010 e 2015

Fonte: Elaborada com base nos dados da pesquisa.

Obs.:1 Agricultura; 2 Pecuária; 3 Produção florestal, pesca e aquicultura; 4 Indústria extrativa; 5 Abate, produtos de carne, laticínio e pesca; 6 Fabricação e refino de açúcar; 7 Outros produtos alimentares; 8 Fabricação de bebidas; 9 Fabricação de produtos do fumo; 10 Fabricação de produtos têxteis; 11 Confeção de vestuário e acessórios; 12 Fabricação de calçados e de artefatos de couro; 13 Fabricação de produtos da madeira; 14 Fabricação de celulose e papel; 15 Fabricação de biocombustíveis; 16 Refino de petróleo e coquerias; 17 Fabricação de químicos e farmacêuticos; 18 Fabricação de produtos não-metálicos; 19 Produção de ferro, siderurgia e fundição; 20 Fabricação de produtos de metal; 21 Fabricação de equipamentos eletrônicos; 22 Fabricação de automóveis, peças e acessórios; 23 Fabricação de equipamentos de transporte; 24 Termoeletrica, gás natural e outras utilidades; 25 Água, esgoto e gestão de resíduos; 26 Construção; 27 Comércio por atacado e a varejo; 28 Transporte, armazenamento e correio; 29 Informação e comunicação; 30 Intermediação financeira, previdência; 31 Atividades imobiliárias; 32 Administração pública e seguridade social; 33 Outras atividades de serviços. BRA – total Brasil.

É importante destacar que o setor Água, esgoto e gestão de resíduos apresentou um estado de desacoplamento forte, já que o crescimento do PIB (1,5% a.a.) tem uma trajetória inversa ao do crescimento da pegada hídrica (-2,5% a.a.). Assim, investimentos que ampliem os serviços de saneamento básico (efeito eficiência) poderão expandir sua atividade econômica com ganhos de eficiência no consumo de água (efeito população). No caso do setor Administração pública e seguridade social e o setor Outras atividades de serviços, o desacoplamento forte está associado, principalmente, à redução do consumo de água por conta do efeito eficiência.

Por sua vez, o setor Pecuária localiza-se no estado de **desacoplamento negativo expansivo**, o que indica prejuízos ambientais na medida em que o crescimento da pegada hídrica (5,6% a.a.) é maior que o crescimento da atividade economia (1,8% a.a.). Dessa maneira, estratégias que melhorem o consumo de água se tornam prementes, principalmente para reverter o péssimo desempenho apontado pela perda de eficiência tecnológica (efeito eficiência) e pelo aumento da escala de produção (efeito econômico) como determinantes fundamentais do aumento de consumo de água por unidade produzida.

Já o setor Produção florestal, pesca e aquicultura apresenta um estado de **acoplamento expansivo**, pautado por taxas de crescimento do PIB (2,3% a.a.) e da pegada setorial (2,6% a.a.) quase semelhantes. Em particular, o estado de dissociação aponta que o maior consumo de água se deu, principalmente, pelo aumento da escala de produção e pela perda de eficiência tecnológica. Embora deva-se mencionar que os impactos negativos sobre os recursos hídricos não foram maiores em função do efeito população, pois houve menor consumo de água da população rural que vem diminuindo.

No grupo dos 25 setores que concentram, em conjunto, 9,9% do consumo total de água no país, três setores (Fabricação de celulose e papel; Fabricação de biocombustíveis; e Intermediação financeira e previdência) destacam-se por apresentar um estado de **desacoplamento forte**. Essa dissociação ideal entre crescimento econômico e consumo de água foi determinada, principalmente, pelo efeito eficiência e pelo efeito econômico.

No outro extremo de dissociação, localiza-se, também, três setores (Indústria extrativa, termoelétricas, gás natural e outras utilidades; Informação e comunicação) com **desacoplamento negativo forte**, indicando que o consumo de água aumentou durante a crise econômica, o que denota o pior cenário possível entre a economia e os recursos hídricos. A perda de eficiência tecnológica e o aumento do consumo de água por parte da população caracterizam o estado de desacoplamento nesses setores.

Em síntese, a Figura 2, que fornece uma visão panorâmica dos estados de dissociação, evidencia setorialmente que existem no país, de forma simultânea, diferentes graus de desacoplamento entre o consumo de água e o crescimento econômico. Assim, as informações sugerem que a política de gestão dos recursos hídricos no Brasil deve ser direcionada de forma sustentável, de acordo com o grau de dissociação que existe em cada setor.

Considerações finais

O desafio do gerenciamento e do consumo racional da água é uma das questões mais importantes no âmbito global para as futuras gerações e para o meio ambiente. Em um cenário em que a incerteza quanto à disponibilidade futura de água e ao acesso universal a ela está aumentando, em todos os continentes, elege-se a água como um dos principais riscos globais. Este estudo demonstrou que os setores produtivos da economia brasileira, em especial, os que atendem o comércio externo, estão contribuindo para o uso eficiente da água com respeito ao meio ambiente.

De forma agregada, o Brasil diminuiu a pegada hídrica nacional e o consumo de água per capita. Todavia, sua autossuficiência em recursos hídricos permitiu que, via comércio internacional, as exportações de água virtual aumentassem, passando de 3,70 para 5,10 vezes as importações de água virtual, no período avaliado.

No âmbito setorial, demonstrou-se que oito setores concentram de 89,3% a 90,7% da pegada hídrica do país, mantendo padrões estruturais similares de consumo, embora o consumo de água varie de setor para setor, de acordo com a natureza de seus processos produtivos. Destaque é dado para o setor da Agricultura que concentra de 43,9% a 40,8% do consumo de água do país, do setor Pecuário que concentra de 18,4% a 24,7% e do setor Água, esgoto e gestão de resíduos que concentra de 10,8% a 9,7%.

O comércio de água virtual dos setores Agricultura, Pecuária, Produção florestal, Abate e produtos de carne, Fabricação e refino de açúcar e Produtos alimentares, além de concentrarem, em conjunto, de 91% a 93,3% das exportações do país, aumentaram em 53% o volume de água virtual exportado no período. Assim, os setores da agropecuária e da agroindústria constituem-se como os principais canais pelos quais a economia brasileira contribui significativamente, com recursos hídricos para o bem-estar da população mundial. Ademais, demonstrou-se que, em 2010, as exportações de água virtual abasteciam 61,32 milhões de habitantes no mundo e, em 2015, essas exportações cresceram de tal maneira que chegaram a abastecer 100,08 milhões de habitantes.

Ao analisarem-se os determinantes das mudanças na pegada hídrica do Brasil, verificou-se que o impacto da atividade econômica ou do efeito econômico (3.558 hm³/ano) é o principal fator determinante para o aumento da pegada hídrica, enquanto as mudanças tecnológicas na produção com respeito ao meio ambiente (efeito eficiência = -2.427 hm³/ano) bem como o consumo da população (efeito população = -1.525 hm³/ano) tendem significativamente para um desenvolvimento ambiental sustentável. Essas mudanças ocorreram principalmente por meio dos setores que produzem alimentos *in natura*, alimentos processados e serviços de saneamento básico, que, em conjunto, concentraram no período 62,1% da pegada hídrica nacional.

Com relação ao nível de pressão ambiental hídrica que as atividades produtivas do país exercem, o desacoplamento entre o consumo de água e o crescimento econômico evidenciou, na economia brasileira, um estado de desacoplamento forte no período de 2010 e 2015; em outras palavras, enquanto a pegada hídrica nacional diminuiu, o PIB continuou crescendo. Essa evidência ideal de ganho econômico-ambiental é corroborada pelo efeito eficiência (-2.427 hm³) e pelo efeito populacional (-1.525 hm³) como determinantes para um menor consumo de água no Brasil.

Verificou-se que esse estado de dissociação está principalmente determinado pelos setores Agricultura, Abate, produtos de carne, laticínio e pesca, Outros produtos alimentares e Água, esgoto e gestão de resíduos.

Uma visão panorâmica dos estados de dissociação evidencia, setorialmente, que existem no país diferentes graus de desacoplamento entre o consumo de água e o crescimento econômico. Assim, a política de gestão dos recursos hídricos no Brasil deve ser direcionada de forma sustentável, de acordo ao grau de dissociação que existe em cada setor. Como a demanda total por produtos agrícolas deverá crescer para atender às demandas decorrentes do crescimento populacional e do aumento da renda no mundo, o Brasil já possui setores que são eficientes na produção econômica e na gestão de recursos hídricos, pois otimizam o consumo da água entre diferentes setores e equilibram as necessidades atuais e futuras. Evidencia-se que o Brasil contribui com o mundo na melhoria da gestão dos recursos hídricos e da água, via autossuficiência em recursos hídricos, e no comércio internacional, via exportações de água virtual.

Referências

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.

ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: http://biblioteca.ana.gov.br/asp/download.asp?codigo=134951&tipo_midia=2&iIndexSr. Acesso em: 10 jan. 2020.

BLENINGER, T.; KOTSUKA, L. K. Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. **Revista Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 36, n. 1, p. 15-24, maio 2015. DOI: <https://doi.org/10.5894/rh36n1-2>

BRASIL. **Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento [...]. Brasília: Presidência da República, Secretaria-Geral, Subchefia para Assuntos Jurídicos, [2020]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm. Acesso em: 5 jul. 2021.

BRITO, S. **Brasil está entre os países com maior área irrigada do mundo**. 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: 2 jul. 2021.

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. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s. l.], v. 138, p. 11-19, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.004>

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **Water footprints of nations**. Volume 1: Main Report. Value of Water. Research Report Series, n. 16. Delft: UNESCO-IHE Delft, 2004. Disponível em:

<https://www.waterfootprint.org/media/downloads/Report16Vol1.pdf> Acesso em: 7 jul. 2021.

CHEN, W. *et al.* China's water footprint by province, and interprovincial transfer of virtual water. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 74, p. 321-333, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.037>

DIETZENBACHER, E.; VELAZQUEZ, E. Analyzing Andalusian virtual water trade in an input–output framework. **Regional Studies**, [s. l.], v. 41, n. 2, p. 185-196, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343400600929077>

EOS. Organização e Sistemas. **Cinco consequências da falta de saneamento básico**. 2019. Disponível em: <https://www.eosconsultores.com.br/5-consequencias-da-falta-de-saneamento-basico/#:~:text=Consequ%C3%Aancia%20da%20falta%20de%20saneamento,epidemi as%20tais%20como%20a%20Dengue>. Acesso em: 26 jun. 2020.

FLOSS, E. L. **Produção de Alimentos**: a nobre missão da agricultura. Berthier: Passo Fundo, 2020.

HOEKSTRA, A. Y. (ed.). **Virtual Water Trade**: Proceeding of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade. Value of Water. Research Report Series. The Netherlands, 2003.

HOEKSTRA, A. Y. Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 68, n. 7, p. 1963-1974, maio 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.021>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contas Nacionais. n. 62**. Matriz de Insumo Produto 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

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

KONG, Y. *et al.* Decoupling analysis of water footprint and economic growth: a case study of Beijing–Tianjin–Hebei Region from 2004 to 2017. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, [s. l.], v. 16, p. 1-20, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16234873>

LI, Y. *et al.* Decoupling water consumption and environmental impact on textile industry by using water footprint method: A case study in China. **Water**, [s. l.], v. 9, n. 2, p. 1-14, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9020124>

MONTOYA, M. A. A pegada hídrica da economia brasileira e a balança comercial de água virtual: uma análise insumo-produto. **Economia Aplicada**, Ribeirão Preto, v. 24, n. 2, p. 215-248, 2020. DOI: <https://doi.org/10.11606/1980-5330/ea167721>

MONTOYA, M. A.; TALAMINI, E. Mudança tecnológica no consumo de “água virtual” e a pegada hídrica na economia brasileira: uma análise insumo-produto ecológica. **Texto para discussão**, Passo Fundo, n. 1, p. 1-31, 2021. Disponível em: <https://www.upf.br/uploads/Conteudo/texto-01-2021.pdf> Acesso em: 20 maio 2021.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Água** - Desafios relacionados com a água. 2018. Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>. Acesso em: 7 jul. 2021.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.org.br/ods/6/>. Acesso em: 2 jul. 2021.

PAN, A. E.; CHEN, L. Decoupling and water footprint analysis of coordinated development between water utilization and the economy in Hubei. **Resources Science**, [s. l.], n. 36, p. 328-333, 2014.

PENA, R. F. A. **Escassez de água no Brasil**. 2018. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/escassez-agua-no-brasil.htm>. Acesso em: 2 jul. 2021.

PIVOTO, D. *et al.* Factors influencing the adoption of smart farming by Brazilian grain farmers. **International Food and Agribusiness Management Review**, Hangzhou, v. 22, n. 4, p. 571-588, 2019. DOI: <https://doi.org/10.22434/IFAMR2018.0086>

PIVOTO, D. *et al.* Scientific development of smart farming technologies and their application in Brazil. **Information Processing in Agriculture**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 21-32, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2017.12.002>

TAPIO, P. Towards a theory of decoupling: Degrees of decoupling in the EU and the case of road trac in Finland between 1970 and 2001. **Transport Policy**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 137-151, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2005.01.001>

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**, [s. l.], v. 49, n. 2, p. 299-322, 2019.

WANG, Q.; JIANG, R.; LI, R. R. Decoupling analysis of economic growth from water use in City: A case study of Beijing, Shanghai, and Guangzhou of China. **Sustainable Cities and Society**, [s. l.], v. 41, p. 86-94, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.05.010>

WIOD. World Input-Output Database. WIOD Data, 2016 Release. **WIOD**, 2016. Disponível em: <http://www.wiod.org/release16>. Acesso em: 2 jul. 2021.

ZHANG, Y.; YANG, Q. S. Decoupling agricultural water consumption and environmental impact from crop production based on the water footprint method: a case study for the Heilongjiang land reclamation area, China. **Ecological Indicators**, [s. l.], v. 43, p. 29-35, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.010>

ZHANG, Z.; YANG, H.; SHI, M. Analyses of water footprint of Beijing in an interregional input-output framework. **Ecological Economics**, [s. l.], v. 70, n. 12, p. 2494-2502, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2011.08.011>

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**, [s. l.], v. 18, p. 1549-1559, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-18-1549-2014>