UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E CONTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA

JAQUELINE COELHO VISENTIN

**O uso da água e a interdependência das economias regionais: o caso das Bacias
Hidrográficas brasileiras**

**The use of water and the interdependence of regional economies: the case of Brazilian
Hydrographic Basins**

São Paulo

2017

Prof. Dr. Marco Antonio Zago
Reitor da Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Adalberto Américo Fischmann
Diretor da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade

Prof. Dr. Hélio Nogueira da Cruz
Chefe do Departamento de Economia

Prof. Dr. Márcio Issao Nakane
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Economia

JAQUELINE COELHO VISENTIN

**O uso da água e a interdependência das economias regionais: o caso das Bacias
Hidrográficas brasileiras**

**The use of water and the interdependence of regional economies: the case of Brazilian
Hydrographic Basins**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Economia da Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. Joaquim José Martins Guilhoto

(Versão original encontra-se na unidade que aloja o Programa de Pós-graduação)

Versão Corrigida

São Paulo

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção de Processamento Técnico do SBD/FEA/USP

Visentin, Jaqueline Coelho

O uso da água e a interdependência das economias regionais: o caso das bacias hidrográficas brasileiras / Jaqueline Coelho Visentin. – São Paulo, 2017.

163 p.

Tese(Doutorado) – Universidade de São Paulo, 2017.

Orientador: Joaquim José Martins Guilhoto.

1. Recursos hídricos – Aspectos econômicos 2. Insumo-produto 3. Bacia hidrográfica I. Universidade de São Paulo. Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade. II. Título.

CDD – 333.914

À minha querida madrinha, Tarcília.

AGRADECIMENTOS

O período dedicado ao doutorado foi de grande crescimento profissional e pessoal. Diante disso, gostaria de agradecer o meu orientador, professor Joaquim José Martins Guilhoto, por possibilitar a oportunidade de estudar em uma importante universidade e acreditar no meu trabalho desde o início. Pela excelente orientação e pelo grande apoio e amizade.

Os meus agradecimentos aos professores membros da banca de qualificação e defesa desta tese. Ao professor Eduardo Amaral Haddad, pelo grande apoio ao longo desta pesquisa. Aos professores Alexandre Alves Porsse, Carlos Roberto Azzoni e Ariaster Baumgratz Chimeli pelos importantes comentários. E ao professor Marcelo Pereira da Cunha, gostaria de agradecer especialmente pelas valiosas contribuições.

Às colegas Keyi Ando Ussami, Denise Imori e Diana Lúcia Gonzaga da Silva, por todo o auxílio e amizade ao longo do doutorado. Sem elas, com certeza este trabalho teria sido mais difícil.

A todos os integrantes do Núcleo de Economia Regional e Urbana da Universidade de São Paulo, por proporcionarem um ambiente de pesquisa acolhedor e enriquecedor.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, à Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas e à Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais pelo suporte financeiro, sem o qual o desenvolvimento desta pesquisa não seria possível.

À Agência Nacional de Águas e à Fundação de Apoio à Universidade de Viçosa pelo fornecimento de dados.

À minha família, pelo incentivo contínuo aos estudos.

E, ao meu querido marido Franklin Barcelos Nunes Neto que, com todo seu apoio, carinho e dedicação, sempre me encorajou.

RESUMO

VISENTIN, Jaqueline Coelho. **O uso da água e a interdependência das economias regionais: o caso das Bacias Hidrográficas brasileiras**. 2017. 163 p. Tese (Doutorado em Economia) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

O Brasil é conhecido por sua disponibilidade hídrica satisfatória. Entretanto, existe uma distribuição espacial desigual desse recurso no país. Tais características, associadas à forte concentração econômica, têm feito com que algumas regiões enfrentem restrições na disponibilidade de água doce. Neste trabalho, a fim de identificar os principais responsáveis pela utilização da água no Brasil, calcularam-se os coeficientes técnicos diretos de captação, consumo e retorno de água, as vazões e os volumes de uso desse recurso, os fluxos inter-regionais de Água Virtual e as Pegadas Hídricas das atividades econômicas de cada uma das Bacias Hidrográficas do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Com base nessas informações, verificaram-se os impactos do atual padrão de uso da água sobre os Balanços Hídricos locais e, em seguida, sugeriram-se algumas aplicações dos resultados encontrados. A fim de atender os objetivos propostos, estimou-se um sistema inter-regional de insumo-produto com 50 setores e 56 regiões para o ano de 2009. Entre os principais resultados, destaca-se que a Bacia Hidrográfica Litoral AL PE PB foi a principal responsável pela captação de água no país, ao mesmo tempo em que apresentou o pior Balanço Hídrico no período. Além disso, verificou-se que a Bacia Tietê foi a principal região do ponto de vista da demanda de água. No que refere aos fluxos inter-regionais entre as Bacias, constataram-se que a interdependência hídrica foi maior que a interdependência econômica e que 66% do volume de Água Virtual exportado entre as regiões foram provenientes de Bacias onde o Balanço Hídrico era no mínimo preocupante. A partir dessas informações, verificaram-se que as referidas exportações ameaçaram a disponibilidade hídrica da maioria das Bacias com Balanços Hídricos acima do nível sustentável. Com relação às aplicações sugeridas, constataram-se que as mudanças climáticas podem fazer com que Bacias adicionais passem a apresentar um Índice de Exploração da Água maior que o nível sustentável e podem piorar o Balanço Hídrico de algumas Bacias localizadas no Nordeste. Diante disso, o emprego de tecnologias de produção mais eficientes no uso dos recursos hídricos, em relação àquelas verificadas pela presente pesquisa, pode se configurar em uma importante medida de mitigação, pois tem o potencial de melhorar significativamente os Balanços Hídricos das Bacias brasileiras. Nesse sentido, destacam-se como demais alternativas: (i) a mudança na composição de algumas economias locais em direção às atividades menos intensivas em água; (ii) importação de bens e serviços intensivos em recursos hídricos, os quais devem ser provenientes de regiões abundantes em água; (iii) políticas regulatórias que impeçam a extração desse recurso acima do limite sustentável; e (iv) o reúso e a transposição de água. Assim, concluem-se que em algumas Bacias Hidrográficas as exportações de Água Virtual contrapõem-se ao esperado do ponto de vista da segurança hídrica. Desse modo, demandam-se políticas públicas que promovam a utilização dos recursos hídricos escassos de maneira menos intensiva nessas regiões.

Palavras-chave: Recursos hídricos. Insumo-produto. Bacia Hidrográfica.

ABSTRACT

VISENTIN, Jaqueline Coelho. **The use of water and the interdependence of regional economies: the case of Brazilian Hydrographic Basins**. 2017. 163 p. Thesis (PhD in Economics) – Faculty of Economics, Business and Accounting, University of São Paulo, São Paulo, 2017.

Brazil is known for its satisfactory water availability. However, there is an uneven spatial distribution of this resource in the country. These characteristics, combined with the strong economic concentration, have caused some regions to face scenarios of water restrictions. In this work, the objective is to identify the main water users in Brazil. To achieve this goal, it were calculated the direct technical coefficients of withdrawn, consumption and return of water, volume of water use, the Virtual Water interregional flows and the Water Footprints of the Hydrographic Basins of the National Water Resource Plan. Based on this information, the impacts of the current water use pattern on the local Water Balance were verified and then some applications of the results were suggested. In order to meet the proposed objectives, an interregional input-output system with 50 sectors and 56 regions for 2009 was estimated. Among the main results, it is worth noting that the Hydrographic Basin Litoral AL PE PB was the main responsible for water withdrawn in the country, while it presented the worst Water Balance. In addition, it was verified that the Tietê Basin was the main region from the water demand point of view. Regarding the interregional flows among the Watersheds, it were verified that the water interdependence was bigger than economic interdependence and that 66% of exported Virtual Water volume among the regions came from Basins where the Water Balance was critical. From this information, it was found that these exports affected the water availability of some Basins with an unsustainable Water Balance. In relation to the suggested applications, it has been found that climate change can make that more Basins shows unsustainable Water Exploitation Index and let the Water Balance of Basins located in Northeast region worsen. Therefore, the use of more efficient production technologies in the use of water resources can be an important mitigation measure since it has the potential to significantly improve the Water Balance of the Brazilian Basins. Among the other policies in this sense, it was highlighted: (i) the change in the composition of some local economies towards less water-intensive activities; (ii) import of goods and services that are intensive in water from water-rich regions; (iii) regulatory policies that prevent the extraction of this resource beyond of the sustainable limit; and (iv) water reuse and transposition. Thus, it can be concluded that in some Hydrographic Basins the exports of Virtual Water counteract what is expected from the water security point of view. Front of that, public policies are required to promote the use of scarce water resources in a less intensive way in these regions.

Keywords: Water resources. Input-output. Hydrographic Basin.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - 56 Bacias Hidrográficas do PNRH.....	37
Figura 2 - Evolução da área irrigada brasileira (1960 - 2014)	44
Figura 3 - Distribuição regional do PIB nacional de 2009 – (%).....	60
Figura 4 - Composição parcial dos PIBs regionais*	64
Figura 5 - Composição setorial dos VBPs regionais em 2009	66
Figura 6 - Composição setorial dos VAs regionais em 2009	67
Figura 7 - Composição setorial da Massa Salarial regional em 2009.....	68
Figura 8 - Composição setorial do Pessoal Ocupado regional em 2009.....	68
Figura 9 - BLs espaciais totais.....	70
Figura 10 - BLs espaciais inter-regionais.....	71
Figura 11 - FLs espaciais inter-regionais	72
Figura 12 - PBL	74
Figura 13 - PFL.....	75
Figura 14 - Destinos das exportações que geraram Valor Adicionado na Bacia Tietê em 2009	76
Figura 15 - Destinos das exportações que geraram Valor Adicionado na Bacia Litoral RJ em 2009.....	77
Figura 16 - Origens das importações de Valor Adicionado da Bacia Tietê em 2009	77
Figura 17 - Origens das importações de Valor Adicionado da Bacia Litoral RJ em 2009	78
Figura 18 - Balança comercial de Valor Adicionado em 2009	79
Figura 19 - Saldo da balança comercial de Valor Adicionado em 2009	79
Figura 20 - Regiões Hidrográficas nacionais	86
Figura 21 - Comparação entre as participações das RHs na vazão de retirada para fins de irrigação no país.....	87
Figura 22 - Participação das UFs na área irrigada do Brasil em 2006.....	89
Figura 23 - Participação setorial no total de água captada diretamente no país em 2009	92
Figura 24 - Volume de água captado diretamente nas Bacias Hidrográficas em 2009	93
Figura 25 - Participação das Bacias na captação total de água no país em 2009.....	93
Figura 26 - Intensidade hídrica do cultivo de Arroz irrigado nas Bacias Hidrográficas	95
Figura 27 - Intensidade hídrica do cultivo de Milho irrigado nas Bacias Hidrográficas.....	95
Figura 28 - Intensidade hídrica do cultivo de Cana irrigada nas Bacias Hidrográficas.....	95
Figura 29 - Intensidade hídrica do cultivo de Soja irrigada nas Bacias Hidrográficas.....	95
Figura 30 - Intensidade hídrica do cultivo de Frutas Cítricas irrigadas nas Bacias Hidrográficas	96
Figura 31 - Intensidade hídrica do cultivo de Fruticultura irrigada nas Bacias Hidrográficas	96
Figura 32 - Intensidade hídrica do cultivo de Café irrigado nas Bacias Hidrográficas.....	96
Figura 33 - Intensidade hídrica do cultivo de Outras culturas irrigadas nas Bacias Hidrográficas	96
Figura 34 - Intensidade hídrica do cultivo de Silvicultura irrigada nas Bacias Hidrográficas.....	97
Figura 35 - Participação dos setores agrícolas no total de água captada para fins de irrigação em 2009	98
Figura 36 - Distribuição regional do volume de água captado para fins de irrigação em 2009.....	99
Figura 37 - Participação dos setores agrícolas na captação de recursos hídricos para fins de irrigação em cada Bacia Hidrográfica - 2009.....	100
Figura 38 - Intensidade hídrica da criação de Bovinos nas Bacias Hidrográficas - 2009	101
Figura 39 - Intensidade hídrica da criação de Outros pecuária nas Bacias Hidrográficas – 2009	101
Figura 40 - Intensidade hídrica da criação de Suínos nas Bacias Hidrográficas – 2009	101

Figura 41 - Intensidade hídrica da criação de Aves nas Bacias Hidrográficas – 2009.....	101
Figura 42 - Distribuição regional do volume de água captado pela pecuária em 2009.....	102
Figura 43 - Participação dos setores pecuários no total de água captada para fins de criação animal em 2009.....	103
Figura 44 - Participação dos setores pecuários na captação de recursos hídricos para fins de irrigação em cada Bacia Hidrográfica - 2009.....	103
Figura 45 - Participação dos setores industriais no total de água captada em 2009.....	104
Figura 46 - Distribuição regional do volume de água captado pela indústria em 2009.....	105
Figura 47 - Intensidade hídrica do setor de Água e esgoto nas Bacias Hidrográficas - 2009	108
Figura 48 - Distribuição regional do volume de água captado pelo setor de Água e esgoto em 2009.....	108
Figura 49 - Intensidade hídrica direta e total dos grandes setores em 2009 (m ³ /MR\$2009) .	111
Figura 50 - Participação da Pegada Hídrica Externa em relação à Pegada Hídrica Total - 2009	116
Figura 51 - Pegada Hídrica Total das 56 Bacias Hidrográficas – 2009.....	117
Figura 52 - Índice de Dependência da Exportação Hídrica - 2009.....	118
Figura 53 - Pegada Hídrica Dentro das 56 Bacias Hidrográficas - 2009	118
Figura 54 - Índice de Dependência Hídrica em 2009	119
Figura 55 - Índice de Dependência das Exportações Hídricas em 2009.....	120
Figura 56 - Importações inter-regionais de Água Virtual* em 2009.....	121
Figura 57 - Exportações inter-regionais de Água Virtual em 2009.....	122
Figura 58 - Origens das importações de Água Virtual da Bacia Tietê em 2009	123
Figura 59 - Origens das importações de Água Virtual da Bacia Litoral RJ em 2009	123
Figura 60 - Destinos das exportações de Água Virtual da Bacia Grande em 2009.....	124
Figura 61 - Destinos das exportações de Água Virtual do Litoral AL PE PB em 2009.....	124
Figura 62 - Fluxo inter-regional de Água Virtual entre as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH (milhões de m ³) – 2009*	126
Figura 63 - Condição das Bacias de acordo com a balança comercial de Água Virtual	127
Figura 64 - Balanço Hídrico em 2006.....	130
Figura 65 - Balanço Hídrico em 2009.....	130
Figura 66 - Interdependência econômica x interdependência hídrica: ótica da oferta	136
Figura 67 - Interdependência econômica x interdependência hídrica: ótica da demanda.....	137
Figura 68 - VA gerado via exportações/exportações de Água Virtual: regiões abaixo e acima da média nacional - 2009	139
Figura 69 - VA gerado via exportações/exportações de Água Virtual (milhões de Reais/milhão de m ³) - 2009	139
Figura 70 - IEA de 2009 e sob as mudanças climáticas projetadas pelo cenário otimista (RCP 4.5)*	145
Figura 71 - IEA de 2009 e sob as mudanças climáticas projetadas pelo cenário pessimista (RCP 8.5)*	146
Figura 72 - Comparação entre os Balanços Hídricos de 2009: sem e com eficiência hídrica	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - 56 Bacias Hidrográficas do PNRH	38
Tabela 2 - 50 setores estudados	38
Tabela 3 - Vazão de retirada per capita de água e taxa de retorno por tipo de rebanho	48
Tabela 4 - Índice de Perda na Distribuição (%)	53
Tabela 5 - Participação do PIB regional no PIB nacional (preços de mercado) - 2009	60
Tabela 6 - Coeficientes técnicos diretos médios de uso de água em 2009 (m ³ /MR\$2009)	83
Tabela 7 - Comparação das bases de dados sobre a vazão de retirada de água no Brasil (metros cúbicos por segundo).....	85
Tabela 8 - Coeficientes técnicos diretos e geradores médios de retirada de água em 2009 (m ³ /MR\$2009).....	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
AR5	Quinto Relatório de Avaliação
BL	<i>Backward Linkage</i>
CNAE	Classificação Nacional das Atividades Econômicas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CO ₂	Dióxido de carbono
COMTRADE	<i>Commodity Trade Statistics Data Base</i>
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CWR	<i>Crop Water Requirement</i>
CY	<i>Crop Yield</i>
FAO	<i>Food and Agriculture Organization</i>
FAOSTAT	Divisão de estatística da FAO
FBB	Fundação Banco do Brasil
FBCF	Formação Bruta de Capital Fixo
FEALQ	Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz
FL	<i>Forward Linkage</i>
FUNARBE	Fundação de Apoio à Universidade de Viçosa
Gm ³ /ano	Gigametros cúbicos por ano
GT2	Grupo de Trabalho 2
ha	Hectare
HO	Heckscher e Ohlin
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEH	Índice de Dependência da Exportação Hídrica
IDEVA	Índice de Dependência das Exportações de Valor Adicionado
IDH	Índice de Dependência Hídrica
IDVA	Índice de Dependência de Valor Adicionado
IEA	Índice de Exploração da Água
ILO	<i>International Labour Organization</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IPD	Índice de Perda na Distribuição
IPEADATA	Banco de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ISFL	Instituições sem Fins Lucrativos
IVV	Índice de Valor Adicionado por Água Virtual
Km	Quilômetros
l/ano	Litros por ano
l/d	Litros por dia
l/m	Litros por mês
l/s	Litros por segundo
l/s/ha	Litros por segundo e por hectare
LCA	<i>Life Cycle Analysis</i>
m ³	Metros cúbicos
m ³ /a	Metros cúbicos por ano
m ³ /d	Metros cúbicos por dia
m ³ /ha	Metros cúbicos por hectare
m ³ /MR\$	Metros cúbicos por milhão de Reais
m ³ /s	Metros cúbicos por segundo

m ³ /ton	Metros cúbicos por tonelada
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDIC	Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio
Mha	Milhões de hectares
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MP	Multiplicadores de Produção
MRS	Milhões de Reais
MS	Massa Salarial
NEREUS	Núcleo de Economia Regional e Urbana
NVWI	<i>Net Virtual Water Import</i>
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
p.p.	Pontos percentuais
PAS	Pesquisa Anual de Serviços
PBL	<i>Pure Backward Linkages</i>
PFL	<i>Pure Forward Linkage</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PO	Pessoal Ocupado
ppm	Partes por milhão
PPM	Pesquisa Pecuária Municipal
Q ₉₅	Disponibilidade hídrica: vazão com permanência de 95% do tempo
RCP	<i>Representative Concentration Pathways</i>
Rede Clima	Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais
RH	Região Hidrográfica
SECEX	Secretaria de Comércio Exterior
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento
SNSA	Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
SWD	<i>Specific Water Demand</i>
TiVA	<i>Trade in Value Added</i>
TiVW	<i>Trade in Virtual Water</i>
ton/ha	Toneladas por hectare
UF	Unidade de Federação
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization</i>
UNFCCC	Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima
UNSD	<i>United Nations Statistics Division</i>
USP	Universidade de São Paulo
VA	Valor Adicionado
VBP	Valor Bruto de Produção
WDI	<i>Water Dependency Index</i>
WEI	<i>Water Exploitation Index</i>
WFN	<i>Water Footprint Network</i>
WIOD	<i>World Input-Output Database</i>
WSI	<i>Water Scarcity Index</i>
WSSI	<i>Water Self-Sufficiency Index</i>

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	19
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
3.	METODOLOGIA	33
3.1.	Construção do sistema inter-regional de insumo-produto.....	33
3.2.	Intensidade hídrica total	41
3.3.	Coeficientes técnicos diretos de uso da água.....	42
3.3.1.	Agricultura irrigada.....	44
3.3.2.	Pecuária	47
3.3.3.	Indústria.....	49
3.3.4.	Água e esgoto e o setor de serviços	50
4.	ANÁLISE ESTRUTURAL: ECONOMIA NACIONAL E REGIONAL	55
4.1.	Estrutura produtiva nacional.....	55
4.2.	O papel das Bacias Hidrográficas na economia nacional.....	59
4.3.	Estrutura produtiva nas Bacias Hidrográficas brasileiras.....	62
4.4.	Interdependência econômica entre as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH.....	69
5.	USO DE ÁGUA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS	83
5.1.	Panorama geral das informações obtidas	83
5.2.	O uso direto de água na agricultura.....	94
5.3.	O uso direto de água na pecuária	100
5.4.	O uso direto de água na indústria.....	104
5.5.	O uso direto de água pelo setor de Água e esgoto e o setor de serviços	107
5.6.	Intensidade hídrica total	109
5.7.	Pegada Hídrica e a interdependência hídrica entre as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH	111
5.8.	O uso dos recursos hídricos e a disponibilidade hídrica	128
5.9.	Interdependência hídrica x interdependência econômica.....	135
6.	ANÁLISES DE IMPACTOS	141
6.1.	Efeito das mudanças climáticas sobre os Balanços Hídricos regionais	141
6.2.	Impactos da eficiência no uso de água sobre os Balanços Hídricos regionais	147
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	151

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios do século XXI se refere ao gerenciamento sustentável dos recursos hídricos. De acordo com o *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2008a), 450 milhões de pessoas de 29 países já sofriam com a escassez desse recurso em 2008, de modo que duas entre três pessoas viverão em áreas de estresse hídrico até 2025.

Nesse cenário, segundo o *Joint Program on the Science and Policy of Global Change of Massachusetts Institute of Technology* (MIT), o crescimento da população e das atividades econômicas têm um efeito muito mais forte sobre o estresse hídrico do que as próprias mudanças climáticas nos países em desenvolvimento. (SCHLOSSER, et al. 2014). Portanto, as evidências mostram que um dos principais responsáveis pelos cenários observados de restrição hídrica é de origem antrópica. Isto é, se refere à própria atividade humana.

Isso se dá porque, apesar do volume de água no planeta Terra permanecer mais ou menos constante ao longo dos anos devido ao ciclo hidrológico, a disponibilidade de água doce não é ilimitada. O crescimento demográfico, o êxodo rural, o crescimento da demanda por água destinada à produção de alimentos, ao uso doméstico e industrial, e a sua poluição são algumas das causas da crescente pressão sobre esse recurso. Assim, muitas vezes a captação de recursos hídricos excede a sua taxa de reposição anual. (HOEKSTRA et al. 2011).

O Brasil, por sua vez, apresenta uma situação confortável em termos globais no que se refere à disponibilidade hídrica *per capita*. Entretanto, existe uma distribuição espacial desigual desse recurso no país. Cerca de 80% da sua disponibilidade estão concentrados na Região Hidrográfica Amazônica, onde há baixo contingente populacional, ao passo que a maior demanda por água se dá na Região Hidrográfica do Paraná, a qual dispõe de menos de 7% da disponibilidade hídrica nacional. (Agência Nacional de Águas (ANA), 2015b), (Ministério do Meio Ambiente (MMA), 2006a).

Tais características associadas à forte concentração econômica têm feito com que algumas regiões enfrentem cenários de restrições hídricas. Desse modo, parece que os problemas relacionados a essas situações dizem respeito muito mais ao gerenciamento dos recursos hídricos, do que ao seu esgotamento propriamente dito.

Nesse contexto, constataram-se que as pesquisas sobre a demanda por água doce no Brasil têm crescido recentemente. No entanto, muitas vezes as informações sobre esse tema parecem subestimadas, desatualizadas e se dão em níveis regionais muito agregados. As informações sobre o uso desse recurso por parte dos setores econômicos quase sempre se

referem apenas aos três grandes setores, a saber: (i) agricultura; (ii) indústria; e (iii) serviços, além do abastecimento público. Além disso, os estudos sobre o tema geralmente consideram apenas o volume de água diretamente incorporado na produção.

Diante desse cenário, as seguintes questões se colocam: qual é a disponibilidade de água doce durante um determinado período e quanto dessa disponibilidade é apropriada por parte do homem durante esse mesmo período? Assim, por meio da comparação entre essas duas variáveis, é possível estudar sobre a sustentabilidade do uso de água em uma dada região de interesse.

Frente às considerações colocadas, o principal objetivo da presente pesquisa é identificar quais os principais responsáveis pelo uso da Água Azul no Brasil em um recorte regional utilizado no gerenciamento dos recursos hídricos no país. Para o atendimento desse objetivo, mensurou-se o volume total de água utilizado pelas atividades econômicas das Bacias Hidrográficas nacionais.

Para isso, foi estimado um sistema inter-regional de insumo-produto com 50 setores e as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH para o ano de 2009, bem como os respectivos coeficientes técnicos diretos de uso da água.

Com base nos resultados obtidos, traçaram-se alguns desafios adicionais. Em primeiro lugar, reuniram-se informações sobre a disponibilidade hídrica das referidas regiões a fim de avaliar se o padrão de uso dos recursos hídricos locais se encaixou dentro do limite considerado sustentável. Para o atendimento desse objetivo, estimaram-se os Índices de Exploração da Água (IEAs) em cada Bacia estudada.

Adicionalmente, como sugestão de aplicação dos resultados encontrados, estimaram-se os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre os Balanços Hídricos das Bacias. Como alternativa de mitigação, simularam-se os impactos do chamado Efeito Tecnológico sobre os IEAs regionais.

A fim de atender esses propósitos, esta pesquisa está estruturada em sete capítulos, entre os quais esta introdução e as considerações finais fazem parte. O segundo capítulo é destinado à revisão bibliográfica, enquanto o terceiro capítulo é voltado à apresentação do modelo inter-regional de insumo-produto, dos métodos empregados na sua estimação, bem como no cálculo do volume de água utilizado.

Os primeiros resultados são apresentados no quarto capítulo. Primeiramente, faz-se uma análise sobre as informações obtidas a partir da matriz estimada no que diz respeito às características da economia nacional e das economias regionais, bem como sobre o padrão de interdependência econômica entre as regiões.

No capítulo cinco, apresentam-se as informações sobre os coeficientes técnicos e o uso direto de água por parte das atividades econômicas e das Bacias Hidrográficas, bem como sobre as respectivas intensidades hídricas totais. Em seguida, são apresentados as Pegadas Hídricas e o padrão de interdependência hídrica entre as Bacias, bem como o estudo sobre a relação entre o uso da água e as disponibilidades hídricas locais e a comparação entre as interdependências hídrica e econômica. No capítulo seis exploram-se os resultados das aplicações sugeridas.

Desse modo, a presente pesquisa procura transcender sua motivação acadêmica e se fazer útil às instituições responsáveis pela gestão dos recursos hídricos nacionais e, em especial, ao próprio PNRH. Assim, espera-se contribuir para o melhor entendimento das estruturas econômicas locais que afetam o uso da água e, portanto, a sua disponibilidade, auxiliando na formulação de políticas públicas voltadas ao gerenciamento sustentável desse recurso.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A água é um bem não substituível e essencial, todas as formas de vida da Terra dependem desse recurso e, em especial, a vida humana depende diretamente da disponibilidade de água doce. No entanto, 97% do volume de água disponível nesse planeta encontram-se nos oceanos, enquanto os 3% restantes concentram-se nas geleiras e nos aquíferos e lençóis freáticos. Por sua vez, os rios e lagos representam apenas 0,0009% da água disponível¹.

O Brasil, por sua vez, concentra 20% de toda a água doce disponível no mundo e por isso é conhecido pela sua expressiva disponibilidade hídrica. No entanto, a distribuição regional desse recurso no país é bastante desigual. Ao passo que 80% dos recursos hídricos nacionais estão concentrados na Região Hidrográfica Amazônica, onde há baixo contingente populacional, a Região Hidrográfica do Paraná dispõe de menos de 7%. (ANA, 2015b) (MMA, 2006a).

Assim, em alguns casos verifica-se grande pressão da demanda por recursos hídricos sobre a sua disponibilidade. Nesses eventos, a relação entre a captação e a disponibilidade hídrica muitas vezes excede o nível sustentável, conforme explorado nos próximos capítulos. Por sua vez, a mesma evidência é observada internacionalmente. Muitos países veem o seu padrão de utilização dos recursos hídricos locais ameaçarem a sua disponibilidade.

Diante desse cenário, Allan (1993) chamou a atenção para um possível bem substituto para os recursos hídricos em regiões onde esses são escassos. Isto é, a água disponível em regiões abundantes nesse bem.

No entanto, o autor não propõe acessar os recursos hídricos disponíveis nas regiões onde esses são abundantes por meio da sua transferência física, pois se tratariam de volumes expressivos para os quais haveriam custos impeditivos de transporte. Sua sugestão se refere à transação de água por meio do comércio de bens e serviços intensivos nesse bem. Desse modo, as regiões onde há baixa disponibilidade hídrica podem direcionar as suas reservas hídricas para o abastecimento humano, enquanto passam a importar bens e serviços intensivos em água em vez de produzi-los internamente.

Nesse contexto, ao volume total de água necessário à produção de um dado bem ou serviço, Allan (1993) chamou de Água Virtual. Portanto, Água Virtual refere-se ao volume total de água requerido para a produção de um produto, seja essa na forma física ou utilizada na produção dos insumos do referido bem.

¹ Informações obtidas no *Natural History Museum of Vienna*, 2016.

Um conceito muito semelhante, o qual muitas vezes está presente nas publicações sobre o tema, se refere à Pegada Hídrica. De acordo com Hoekstra et al. (2011), a Pegada Hídrica de um produto é igual ao volume de água utilizado para produzi-lo, medido ao longo de toda cadeia produtiva, por meio da qual conhece-se o tipo de água, bem como onde e quando a mesma foi utilizada.

Assim, conforme as descrições apresentadas, pode-se constatar a semelhança entre os dois conceitos. Enquanto o termo Água Virtual refere-se ao volume de água incorporado no produto em si, a Pegada Hídrica trata não somente do volume, mas também do tipo de água que foi utilizada, Verde, Azul ou Cinza, conforme definidos a seguir. Além disso, essa medida diz respeito ao período e local onde esses recursos foram utilizados. (HOEKSTRA et al. 2011).

Portanto, a pegada hídrica de um produto é um indicador multidimensional, enquanto o 'conteúdo de água virtual' ou a 'água incorporada' refere-se somente ao volume. Recomendamos utilizar o termo 'pegada hídrica' devido ao seu escopo mais amplo. O volume é somente um aspecto do uso da água; o local, o momento e o tipo de água utilizada também são importantes. (HOEKSTRA et al. 2011, p. 42).

Nesse contexto, os autores recomendam o uso do termo Água Virtual quando se tratam dos fluxos internacionais ou inter-regionais. Assim, se uma região exporta ou importa um produto, está exportando ou importando também água de modo virtual.

A literatura que trabalha com o conceito de Pegada Hídrica geralmente distingue a água em três categorias, a saber: (i) Água Azul, a qual diz respeito à água disponível nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos; (ii) Água Verde, se refere à água das chuvas, desde que não escoe; e (iii) Água Cinza, trata-se do volume de água doce necessário para assimilar a carga de poluentes, a partir de concentrações naturais e de padrões de qualidade da água existentes. (HOEKSTRA et al. 2011).

Assim, a Pegada Hídrica total de um dado produto é composta pelas Pegadas Hídricas Azul, Verde e Cinza, sendo que as duas primeiras dizem respeito ao consumo de Água Azul e Verde, respectivamente, ao longo da cadeia produtiva do referido produto.

Nesse contexto, é importante chamar a atenção para o fato de que o termo consumo refere-se à perda de água disponível em uma Bacia Hidrográfica, sendo que essa perda ocorre quando a água evapora, retorna a outra Bacia ou ao mar ou é incorporada em um produto. A Pegada Hídrica Cinza, por sua vez, refere-se à poluição e é definida conforme o conceito de Água Cinza já mencionado. (HOEKSTRA et al. 2011).

Visto os inúmeros desafios associados ao uso sustentável dos recursos naturais, muitas pesquisas têm se dedicado a estudar os fluxos de Água Virtual a fim de verificarem se a hipótese levantada por Allan (1993) pode ser ou tem sido viável do ponto de vista de determinadas economias. Isto é, tais pesquisas procuraram responder as seguintes questões: (i) as regiões onde os recursos hídricos são escassos têm recorrido às importações de Água Virtual? (ii) as importações de Água Virtual têm se configurado em uma alternativa concreta para os países onde há escassez de água?

Nesse contexto, muitas iniciativas se concentraram em estudar esses fluxos do ponto de vista de países com recursos hídricos limitados e/ou importadores líquidos de Água Virtual. Assim, procuraram avaliar quão importante as importações de Água Virtual podem ser para a segurança hídrica local.

Como o Brasil exibe uma disponibilidade hídrica confortável em relação aos demais países e é um importante exportador líquido de Água Virtual no comércio internacional, poucas pesquisas se voltaram a estudar, especificadamente, os seus fluxos desse recurso. Muitas vezes, as referidas informações sobre o Brasil estão presentes em estudos mais amplos, onde se verificaram o fluxo de Água Virtual no comércio internacional para uma série de países.

Hoekstra e Hung (2002), por exemplo, estimaram o volume de água utilizado na produção de 38 culturas agrícolas em diferentes países do mundo entre 1995 e 1999. Com base nessas informações, calcularam os fluxos de Água Virtual vinculados ao comércio internacional desses produtos e compararam a balança comercial em termos de Água Virtual de cada país com as suas respectivas necessidades e disponibilidades hídricas² no período.

Para o atendimento desses objetivos, primeiramente, os autores estimaram a demanda específica por água (*Specific Water Demand* (SWD)), em m³ por tonelada (m³/ton), de cada cultura dos países considerados, de modo que consideraram somente o volume demandado de Água Azul. Para essa estimativa, empregaram os dados sobre a necessidade hídrica das culturas (*Crop Water Requirement* (CWR)), em m³ por hectare (m³/ha), e sobre a produção das culturas (*Crop Yield* (CY)), em toneladas por hectare (ton/ha).

Por sua vez, os dados a respeito dos CWRs foram calculados por meio do modelo CropWat, *software* que calcula os CWRs e as necessidades de irrigação baseadas nos tipos de solo, clima e cultura de cada região, em combinação com o ClimWat, uma base de dados

² Tais variáveis foram medidas por meio dos seguintes indicadores: (i) *Water Scarcity Index* (WSI): razão entre o volume de água captado e a disponibilidade hídrica; (ii) *Water Dependency Index* (WDI): razão entre a Importação Líquida de Água Virtual (*Net Virtual Water Import* (NVWI)) de uma região e a apropriação total de água desta mesma região; e (iii) *Water Self-Sufficiency Index* (WSSI) = 1-WDI. (HOEKSTRA; HUNG, 2002).

climáticos, ambos desenvolvidos pela *Food and Agriculture Organization* (FAO). As informações sobre os CYs e o comércio global de produtos agrícolas foram obtidas a partir da base de dados da divisão de estatística da FAO (FAOSTAT) e do *Commodity Trade Statistics Data Base* (COMTRADE) do *United Nations Statistics Division* (UNSD), respectivamente.

Assim, com base nessas informações, os fluxos de Água Virtual entre os países foram calculados via multiplicação entre os fluxos de comércio internacional das culturas estudadas e os respectivos conteúdos de Água Virtual.

Entre os principais resultados, os autores verificaram que os fluxos de Água Virtual entre os países totalizaram 695 gigametros cúbicos por ano (Gm^3/ano), de modo que 13% do volume de água utilizado para a produção de bens agrícolas no mundo foram destinados às exportações, em média no período.

O Brasil, por sua vez, ocupou a décima posição como exportador líquido de Água Virtual, com um saldo de 9 Gm^3/ano , após exportar e importar 32 Gm^3/ano e 23 Gm^3/ano , respectivamente. Além disso, é importante destacar que o país apresentou um baixo WSI médio no período, além de ter se mostrado autossuficiente no provimento de Água Virtual para o uso agrícola local e, portanto, pouco dependente dos recursos hídricos externos.

Seguindo o mesmo raciocínio da pesquisa anterior, Chapagain e Hoekstra (2003) estimaram os fluxos de Água Virtual vinculados ao comércio internacional de produtos pecuários para uma série de países entre 1995 e 1999.

Entre os principais resultados, os autores verificaram que os fluxos mundiais de Água Virtual totalizaram 336 Gm^3/ano , sendo o gado de corte o principal responsável, respondendo por 69% em média no período. O Brasil, por sua vez, foi o sétimo país mais importante entre os exportadores líquidos de Água Virtual, com um saldo de 7 Gm^3/ano , visto que exportou e importou 12 Gm^3/ano e 5 Gm^3/ano , respectivamente.

Desse modo, combinando os dados das duas pesquisas mencionadas, verificou-se que o Brasil ocupou a décima posição como exportador líquido de Água Virtual, com um saldo de 16 Gm^3/ano , exportando 44,4 Gm^3/ano e importando 28,3 Gm^3/ano em média no período. (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2003).

Outras pesquisas, tais como as realizadas por Zimmer e Renault (2003)³ e Hoekstra e Mekonnen (2012) corroboraram de modo qualitativo com os resultados encontrados até então. Segundo a pesquisa de Hoekstra e Mekonnen (2012) – a qual, entre as pesquisas realizadas

³ Zimmer e Renault (2003) trabalharam com o volume de Água Azul e Verde utilizado na produção de produtos agrícolas e pecuários no ano de 1999.

pelos pesquisados do *Water Footprint Network* (WFN)⁴ foi uma das mais completas visto que estimou as Pegadas Hídricas Azul, Verde e Cinza de diversos países no que se refere aos produtos agrícolas, pecuários, industriais e do abastecimento público – o Brasil foi o quarto maior exportador líquido de Água Virtual entre 1996 e 2005. Portanto, a evidência de que o Brasil é um país exportador líquido de Água Virtual parece não ser objeto de controvérsias.

Entre as poucas pesquisas que se dedicaram a estudar o caso específico do Brasil, destaca-se a realizada por Picoli (2016). Nessa pesquisa, a autora estimou as Pegadas Hídricas Verdes dos setores agrícolas e as Pegadas Hídricas Azuis dos setores industriais da economia brasileira utilizando uma metodologia e base de dados, para o ano de 2009, distintas daquelas empregadas pelo WFN.

Mesmo assim, os seus resultados corroboraram com os previstos até então. Ao constatar que 38% da Água Virtual utilizada no país se deram para fins de exportação internacional, chamou a atenção para o fato de que o país se mostrou um importante exportador de Água Virtual no período.

No entanto, como o Brasil é um país de grandes proporções e caracterizado por condições climáticas regionais bastante heterogêneas, as quais têm implicações diretas sobre a disponibilidade hídrica e consequentemente sobre o uso da água, informações a nível nacional podem mascarar as características locais. Assim, em países de grande escala, também é importante estudar o comércio internacional de Água Virtual das regiões que os compõem.

Sobre esse ponto, destaca-se o trabalho de Gelain (2014), a qual estimou a balança comercial internacional de Água Virtual das Unidades da Federação (UFs) nacionais. Para isso, a autora trabalhou com os fluxos de Água Virtual Azul, Verde e Cinza relacionados ao comércio internacional em 1997, 2003, 2008 e 2013 de 189 produtos agrícolas, os quais representaram 25% das exportações brasileiras em 2013.

Para o atendimento do objetivo proposto, Gelain (2014) utilizou as informações sobre as exportações e importações estaduais, disponíveis no AliceWeb⁵, e os dados sobre as Pegadas Hídricas dos referidos bens, disponíveis em Mekonnen e Hoekstra (2010).

Entre os seus principais resultados, a autora verificou que em todos os períodos analisados o Brasil foi exportador líquido de Água Virtual, corroborando, portanto, com as pesquisas já mencionadas. Adicionalmente, mostrou que os principais estados exportadores líquidos de Água Virtual no período foram o Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul, São

⁴ O WFN foi fundado em 2008. É uma rede global de pesquisadores e parceiros com mais de 200 integrantes que estudam o modo com os recursos hídricos são utilizados no mundo todo.

⁵ O AliceWeb diz respeito a uma plataforma online desenvolvida e mantida pela Secretaria de Comércio Exterior (Secex) do Ministério de Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC).

Paulo, Minas Gerais e Goiás, os quais foram responsáveis por 88% da exportação bruta e 92% da exportação líquida de Água Virtual em 2013. Entre os principais importadores líquidos, destacaram-se os Estados do Ceará, Rio de Janeiro e Pernambuco, os quais responderam por 81% de toda Água Virtual bruta importada pelo país em 2013.

Silva et al. 2016 também avaliaram o comércio internacional de Água Virtual das UFs brasileiras, bem como estimaram a escassez, dependência e autossuficiência hídrica por estado, conforme definido em Hoekstra e Hung (2002). Para isso, consideraram o comércio internacional de *commodities* agrícolas e de alguns produtos pecuários no período entre 1997 e 2012.

Para o atendimento dos objetivos propostos, os autores estimaram a Pegada Hídrica do consumo nacional e a balança comercial de Água Virtual dos 27 estados nacionais, para os quais consideraram a soma do consumo de Água Azul e Verde.

No que se refere às bases de dados, os pesquisadores utilizaram as informações sobre a população, produção e consumo de produtos agrícolas disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e os dados sobre comércio internacional obtidos a partir do AliceWeb. Quanto às Pegadas Hídricas para as culturas nacionais, os autores empregaram a mesma abordagem utilizada em Hoekstra e Hung (2002), enquanto para as Pegadas Hídricas dos produtos importados por país de origem, utilizaram os dados disponíveis em Hoekstra e Mekonnen (2012).

Os seus principais resultados corroboraram com os previstos pela literatura já mencionada. Isto é, o Brasil foi exportador líquido de Água Virtual no comércio internacional de *commodities* agrícolas e alguns produtos pecuários entre 1997 e 2012, visto que as suas exportações de Água Virtual totalizaram 67,1 bilhões de metros cúbicos (m³) por ano, contra as importações de 12,3 bilhões de m³ por ano.

De acordo com os autores, o principal destino dessas exportações foi a Europa, a qual foi responsável por 41% do montante total de Água Virtual exportado pelo Brasil no período, com destaque para a Rússia e Alemanha, seguidas do continente asiático e a América do Norte.

No entanto, a maior contribuição do artigo se refere à balança comercial de Água Virtual dos estados nacionais. De modo geral, os autores verificaram que a maioria das grandes regiões do Brasil foi exportadora líquida, com destaque para a região Sudeste, onde as exportações de açúcar foram as principais responsáveis. Em contrapartida, o Nordeste e o estado do Paraná foram importadores líquidos de Água Virtual no comércio internacional de *commodities* agrícolas.

Além disso, Silva et al. 2016 constataram que o WSI médio nacional do período foi de apenas 5%, camuflando, portanto, a grande heterogeneidade desse indicador entre os estados. Nesse sentido, chama-se a atenção para os casos das regiões Nordeste e Sudeste, para as quais os WSIs foram iguais à 77% e 46%, respectivamente, caracterizando essas regiões como altamente críticas do ponto de vista do Balanço Hídrico.

Portanto, analisando os dados sobre as exportações e importações de Água Virtual em conjunto com as informações sobre o WSI, nota-se que ao mesmo tempo em que a região Sudeste foi a mais importante do ponto de vista das exportações internacionais de Água Virtual, apresentou um grande WSI.

Adicionalmente, os autores verificaram que o Brasil foi autossuficiente no que se refere à utilização de água empregada na produção de produtos agropecuários no período, conforme já verificado nos demais trabalhos mencionados.

Diante das pesquisas consultadas, notam-se que em todas houve predominância do estudo acerca do volume de Água Virtual embutido no comércio internacional do país ou das UFs com os demais países do mundo. Diante disso, constatou-se que um componente importante para a produção local tem sido negligenciado. Isto é, conforme Hoekstra e Hung (2005) destacaram, para países com grandes escalas é relevante estudar o comércio inter-regional de Água Virtual.

Somado a esse ponto, verificaram-se que as poucas pesquisas que estimaram as Pegadas Hídricas e os fluxos de Água Virtual das economias locais brasileiras, privilegiaram um recorte regional definido por limites administrativos, sendo que no caso dos trabalhos consultados o mesmo se deu em termos de UFs.

No entanto, quando se está interessado em avaliar o impacto do uso dos recursos hídricos sobre a sua disponibilidade e, portanto, extrair alguma medida sobre a sustentabilidade do seu uso, é importante que se considere um recorte regional definido em termos de Bacias Hidrográficas⁶.

Afinal, como os ciclos hidrológicos locais ocorrem dentro desse limite regional, a Bacia Hidrográfica funciona como uma espécie de “unidade natural de gerenciamento dos recursos hídricos”. Assim, qualquer ação sobre os seus recursos em uma determinada localidade da Bacia reflete, de modo interdependente, na disponibilidade hídrica das demais localidades dentro dessa mesma região. Portanto, a captação, o reúso, o aumento da eficiência

⁶ Uma Bacia Hidrográfica é toda uma área geográfica drenada por um rio e seus afluentes. Todo o escoamento de uma Bacia converge para o mesmo exutório. (HOEKSTRA, A. Y. et al. 2011, p. 20).

na captação e na drenagem, bem como as mudanças no uso da terra, produzem efeitos sobre os fluxos hídricos dentro de uma mesma Bacia. (MOLDEN; BOS, 2005).

Outra lacuna verificada na literatura se trata dos produtos para os quais as Pegadas Hídricas e os fluxos de Água Virtual foram estimados. Na maioria dos casos, as pesquisas se concentraram nos produtos agrícolas e pecuários. Portanto, não consideraram a totalidade dos bens e serviços produzidos na economia. Ainda que esses produtos são intensivos em água e, portanto, muito importantes do ponto vista da participação na Pegada Hídrica nacional ou regional e, conseqüentemente, nos fluxos de Água Virtual, os resultados produzidos não ofereceram uma medida realista acerca do padrão de uso da água.

Verificaram-se ainda que, de modo geral, as pesquisas abordaram os diferentes tipos de água, Azul, Verde e Cinza, oferecendo medidas úteis à compreensão da dinâmica da sua utilização. Mas, por se tratarem de tipologias diferentes, estudá-las simultaneamente pode provocar alguma confusão no que se refere às sugestões de políticas.

Ainda que esses diferentes tipos de água são interdependentes entre si, do ponto de vista das políticas públicas parece ser mais viável tratá-los de modo separado. Diante disso, portanto, sugere-se que o estudo acerca do uso dos recursos hídricos se dê, primeiramente, sobre um determinado tipo desse bem.

No que se refere às metodologias e às bases de dados utilizadas na maioria dos estudos mencionados, verificaram-se que a abordagem *bottom-up* foi a mais utilizada. As estimativas das Pegadas Hídricas com base nessa abordagem se dão por meio da análise do ciclo de vida (*Life Cycle Analysis* (LCA)). Essas, por sua vez, se baseiam em informações detalhadas a respeito do volume de Água Virtual incorporado em cada etapa dos processos produtivos individuais. No entanto, não mapeiam toda a cadeia de produção e não identificam os usuários dos produtos entre intermediários e finais. Assim, não é possível identificar os principais agentes responsáveis pelo uso de água na economia. (FENG et al. 2011).

Como alternativa, destaca-se a abordagem *top-down*. Essa, por sua vez, se refere às análises baseadas no modelo de insumo-produto, através do qual é possível calcular as Pegadas Hídricas ao longo de toda a cadeia de produção, seja regional, nacional ou global, de modo que o volume de água utilizado na produção é alocado aos consumidores finais ao invés dos intermediários. Assim, é possível identificar os principais agentes responsáveis pelo uso dos recursos hídricos na economia estudada. (FENG et al. 2011).

Em geral, as bases de dados acessadas por pesquisas que utilizam a abordagem *bottom-up* dizem respeito às informações disponibilizadas pelo WFN, as quais, entre outras limitações, se referem ao volume médio de água necessário para a produção de um

determinado produto em um determinado país. Portanto, esses dados não refletem as heterogeneidades climáticas das regiões que compõem um país de grandes dimensões como o Brasil.

Visto que a estimação do volume de água utilizado é realizada com a finalidade de estudar os impactos do seu uso sobre a disponibilidade hídrica, é importante mensurar de fato quais os tamanhos desses efeitos. Muitas pesquisas chamam a atenção para esse aspecto, no entanto, visto a dificuldade de obtenção de dados sobre a disponibilidade hídrica de acordo com os recortes regionais geralmente trabalhados, esse tipo de análise no Brasil foi encontrado em apenas duas referências, a respeito das quais são tratadas a seguir.

O PNRH (MMA, 2006e) dispõe de informações sobre a captação e a disponibilidade hídrica das 56 Bacias Hidrográficas do referido Plano para o ano de 2006, enquanto Ribeiro Neto, Paz e Silva (2016) analisaram os IEAs para 23 Regiões Hidrográficas nacionais a partir das informações sobre a captação de água em 2010 e as suas estimativas sobre a disponibilidade hídrica média das referidas regiões entre 1961 e 1990. Além disso, os últimos estimaram os IEAs com base em possíveis cenários de mudanças climáticas para os períodos entre 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099.

Portanto, diante dos dados disponíveis, seria interessante atualizar as informações do MMA (2006e), criando condições para realizar a análise proposta Ribeiro Neto, Paz e Silva (2016) em um recorte regional mais desagregado e utilizado no gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil.

Assim, a fim de contribuir para o preenchimento das lacunas destacadas e encontradas na literatura sobre o tema no país, a presente pesquisa se propõe a estimar as Pegadas Hídricas Azuis das atividades econômicas e das Bacias Hidrográficas, bem como os fluxos de Água Virtual relacionados ao comércio inter-regional de bens e serviços em um nível considerável de desagregação.

Sobre esses objetivos, é importante destacar um ponto. O próprio PNRH foi decisivo para a definição do escopo deste estudo, pois por meio do plano identificou-se uma oportunidade de pesquisa importante. Isto é, no âmbito do PNRH, a Fundação Banco do Brasil (FBB) juntamente com o MMA e a Fundação de Apoio à Universidade de Viçosa (FUNARBE) publicaram um estudo em 2011 por meio do qual os coeficientes técnicos de retirada, consumo e retorno de água para as atividades agrícolas irrigadas e os setores industriais foram estimados. Assim, a partir desse estudo, passaram-se a dispor de informações bastante detalhadas do ponto de vista regional e setorial sobre o uso dos recursos hídricos no Brasil.

No entanto, apesar desse estudo ter se configurado em uma iniciativa importante em direção à mensuração do uso dos recursos hídricos no país, o mesmo considerou apenas o uso direto de água. Isto é, o volume físico de água utilizado para produzir um determinado bem. Portanto, o volume de água indiretamente embutido na produção desse bem e os fluxos de Água Virtual entre as regiões de interesse não foram contabilizados.

Desse modo, a partir das informações mencionadas é possível identificar quais atividades econômicas e regiões são mais intensivas no uso direto de recursos hídricos em uma determinada localidade, mas não se conhece as respectivas intensidades no uso total de recursos hídricos, bem como quais agentes econômicos são os principais responsáveis pelo uso desses recursos.

Diante disso e dos objetivos apresentados, trabalhou-se com a referida base de dados, além de outras informações complementares em um recorte regional já utilizado no gerenciamento desses recursos, o qual foi definido pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Isto é, visto que o PNRH compõe o conjunto de instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos⁷, uma subdivisão do país útil ao gerenciamento sustentável desses recursos foi proposta. Assim, o CNRH criou a Divisão Hidrográfica Nacional e, em seguida, as 56 Unidades de Planejamento Hidrográfico, as quais se configuraram na base físico-territorial para a elaboração e a implementação do Plano. (BRASIL, 2003; MMA, 2006c).

Assim, para o atendimento dos objetivos propostos pela presente pesquisa foi estimado um sistema inter-regional de insumo-produto para o ano de 2009, composto por 50 setores e 56 Bacias Hidrográficas. No que se refere às bases de dados sobre o uso de água, ao contrário do verificado na maioria da literatura consultada, optou-se por utilizar as informações já empregadas na própria gestão desse recurso por parte da ANA. Desse modo, além de produzir resultados úteis às políticas públicas nesse campo, esses também refletem as características regionais de cada Bacia.

⁷ A Política Nacional de Recursos Hídricos foi instituída pela Lei nº 9.433/97 em resposta aos compromissos assumidos pelo Brasil com as Metas do Milênio e com a Cúpula Mundial de Joanesburgo (Rio+10). (BRASIL, 1997). Entre os compromissos assumidos, previa-se a elaboração de “planos de gestão integrada dos recursos hídricos e aproveitamento eficiente da água até 2005”. (MMA, 2006c). Assim, nesse contexto, o PNRH foi aprovado em 2006 com o objetivo de: “[...] estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em qualidade e quantidade, gerenciando as demandas e considerando a água um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais, sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social.” (MMA, 2006d).

3. METODOLOGIA

O presente capítulo é dedicado à apresentação das principais metodologias e bases de dados empregadas nas diferentes fases deste estudo. Primeiramente, apresentam-se o modelo de insumo-produto, a aplicação utilizada para sua extensão ambiental, as estratégias e bases de dados adotadas para a construção do sistema inter-regional de insumo-produto com 50 setores e as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH para o ano de 2009, bem como o modo como alguns fluxos inter-regionais aparentemente inconsistentes foram corrigidos.

Em seguida, descrevem-se as bases de dados utilizadas e as maneiras pelas quais as informações necessárias ao cálculo dos coeficientes técnicos diretos de uso da água para as atividades agrícolas, pecuárias, industriais e do setor de Água e esgoto foram produzidas.

3.1. Construção do sistema inter-regional de insumo-produto

Desenvolvido por Wassily Leontief no final da década de 1930, pelo qual recebeu o prêmio Nobel de Economia em 1973, o modelo de insumo-produto tornou-se um instrumento amplamente difundido a partir da década de 1950. Sua versão mais tradicional permite analisar a interdependência entre as indústrias de uma dada economia, mediante um sistema de equações lineares que descreve a distribuição dos produtos de cada indústria. O modelo inter-regional de insumo-produto, por sua vez, apresenta as interconexões entre diferentes regiões, permitindo estudar a interdependência entre elas, conforme descrito a seguir. (MILLER; BLAIR, 2009).

Seja (1) um sistema de equações lineares que identifica as vendas de cada setor “n”:

$$\begin{aligned}
 x_1 &= z_{11} + z_{12} + \dots + z_{1n} + y_1 \\
 x_2 &= z_{21} + z_{22} + \dots + z_{2n} + y_2 \\
 &\vdots \\
 x_n &= z_{n1} + z_{n2} + \dots + z_{nn} + y_n
 \end{aligned} \tag{1}$$

De modo que as equações podem ser representadas como a seguir:

$$x_i = \sum_{j=1}^n z_{ij} + y_i \tag{2}$$

Onde:

n é o número de setores da economia;

x_i é a produção total do setor “i”;

y_i é a demanda final do setor “i”;

z_{ij} é o fluxo entre as indústrias, isto é, do setor “i” para o setor “j”.

Os coeficientes técnicos diretos “ a_{ij} ” são obtidos pela razão entre os fluxos “ z_{ij} ” e a produção total do setor “j”, “ x_j ”. Isto é, “ a_{ij} ” se refere ao montante, em unidades monetárias, de insumos demandados do setor “i” por unidade monetária de produção do setor “j”. Assim, a análise de insumo-produto requer que o uso dos insumos por parte dos setores respeite a proporção fixa prevista pelos respectivos coeficientes “ a_{ij} ”, conforme descrito a seguir.

$$a_{ij} = z_{ij} / x_j \quad (3)$$

Substituindo (3) em (2), tem-se que:

$$x_i = \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j + y_i \quad (4)$$

Reescrevendo (4) na forma matricial:

$$X = AX + Y \quad (5)$$

Onde:

X é um vetor ($n \times 1$) que contém os valores da produção total por setor;

Y é um vetor ($n \times 1$) que contém os valores da demanda final por setor;

A é uma matriz ($n \times n$) que contém os coeficientes técnicos diretos de produção.

Resolvendo a equação (5), obtém-se a produção total necessária para atender a demanda final, conforme descrito pela equação 6.

$$X = (I - A)^{-1} Y \quad (6)$$

Onde:

$(I - A)^{-1} = L$: é a matriz inversa de Leontief. Com dimensão $(n \times n)$, contém os coeficientes totais, diretos mais indiretos, de produção, de modo que cada elemento “ l_{ij} ” indica a produção total do setor “i” que é necessária para produzir uma unidade monetária da demanda final do setor “j”.

Conforme mencionado, o modelo inter-regional de insumo-produto, por sua vez, permite capturar as interconexões dos setores entre diferentes regiões. Assim, definindo “ Z_{ij}^{LM} ” como o fluxo monetário do setor “i” da região “L” para o setor “j” da região “M”, em um modelo com “r” regiões ($r = 1, 2, \dots, r$), tem-se a seguinte matriz de fluxos intermediários.

$$Z = \begin{bmatrix} Z^{11} & \dots & Z^{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z^{r1} & \dots & Z^{rr} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Onde:

Z^{11} a Z^{rr} representam as matrizes $(n \times n)$ de fluxos intrarregionais, isto é, os fluxos entre uma mesma região;

Z^{1r} a Z^{r1} representam as matrizes $(n \times n)$ de fluxos inter-regionais, isto é, os fluxos entre regiões diferentes.

De forma análoga ao procedimento adotado para uma região, o sistema de Leontief mantém-se na forma apresentada na equação (6). Porém, seus componentes passam a ser os seguintes.

$$X = [X^1 \dots X^r] \quad (8)$$

$$Y = [Y^1 \dots Y^r] \quad (9)$$

$$A = \begin{bmatrix} A^{11} & \dots & A^{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A^{r1} & \dots & A^{rr} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Onde:

X^r é o vetor ($n \times 1$) que contém os valores da produção total por setor na região r ;

Y^r é o vetor ($n \times 1$) que contém os valores da demanda final por setor na região r ;

A^{1r} é a matriz ($n \times n$) com os coeficientes técnicos diretos de produção da região 1 para a região r , de modo que a interpretação é análoga para A^{11} , A^{r1} e A^{rr} .

Cada elemento da matriz A indica quanto do insumo do setor “ i ” de uma dada região é requerido para a produção de uma unidade monetária do setor “ j ” de uma dada região.

Assim, cada elemento “ l_{ij}^{LM} ” da matriz ($nr \times nr$) que contém os coeficientes totais, diretos mais indiretos, de produção, indica a produção total do setor “ i ” na região “ L ” que é necessária para produzir uma unidade monetária da demanda final do setor “ j ” na região “ M ”.

Porém, antes de empregar a metodologia apresentada, é necessário dispor da matriz inter-regional de insumo-produto de interesse. Como o presente estudo trabalha com um recorte regional baseado em Bacias Hidrográficas, não foi encontrado na literatura dados compatíveis com a pesquisa proposta. Diante disso, foi necessário construir o sistema.

Para o atendimento desse objetivo, baseado no sistema inter-regional de insumo-produto do Núcleo de Economia Regional e Urbana (NEREUS) da Universidade de São Paulo (USP), o qual foi estimado de acordo com as metodologias disponíveis em Guilhoto e Sesso Filho (2005), Guilhoto et al. (2010) e Guilhoto et al. (2017), construiu-se uma matriz inter-regional de insumo-produto para o ano de 2009, na qual foram contemplados 50 setores e as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH.

Durante esse procedimento, foi necessário desagregar os dados de cada UF em seus respectivos municípios. Para isso, assumiu-se que a estrutura econômica dos municípios fosse igual à estrutura das UFs aos quais os primeiros pertencem. Assim, seguiu-se o mesmo raciocínio dos procedimentos empregados na desagregação dos dados nacionais em estaduais, conforme as referências mencionas, e agregaram-se as informações municipais de acordo com a composição das Bacias. (IBGE, 2015b). Desse modo, obteve-se, portanto, o sistema inter-regional de insumo-produto em termos de Bacias Hidrográficas.

Sobre as bases de dados utilizadas, é importante destacar que a escolha pelo ano de 2009 se deu frente a disponibilidade de dados na ocasião do início da pesquisa, os quais, naquele

momento, eram os mais atuais. No entanto, sabe-se que em 2009 houve a eclosão da maior crise financeira mundial desde 1929, a qual exerceu forte impacto sobre o Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, assim como sobre os investimentos, a produção industrial, a taxa de câmbio, entre outros.

Porém, apesar do forte impacto que a crise exerceu sobre as variáveis macroeconômicas da época, a aplicação do sistema de insumo-produto para o ano de 2009 não invalida os estudos acerca das estruturas econômicas nacionais e regionais, justamente porque se está interessado em estudar as características dessas estruturas.

Em termos gerais, a economia brasileira não deixou de ser, por conta desse período, prioritariamente baseada em serviços, em indústrias extrativistas e de baixa e média tecnologia, fortemente dependente do consumo interno e com atividades significativamente concentradas nas regiões Sudeste e Sul. Desse modo, a aplicação dos dados de 2009 para a estimação da matriz inter-regional de insumo-produto não oferece grandes riscos ao estudo sobre as estruturas produtivas internas.

No que se refere ao número de atividades econômicas consideradas, a maior desagregação possível frente ao limite computacional com o qual se trabalhou foi para o nível de 50 setores, onde se privilegiou a desagregação das atividades agrícolas e pecuárias, visto sua importância em relação ao uso da água.

A seguir, apresentam-se os recortes regional e setorial com o qual se está trabalhando.

Figura 1 - 56 Bacias Hidrográficas do PNRH

Fonte: ANA, 2013a.

Tabela 1 - 56 Bacias Hidrográficas do PNRH

1 Amapá Litoral	15 Itapecuru	29 São Francisco Alto	43 Iguaçu
2 Negro	16 Mearim	30 Litoral SE	44 Doce
3 Trombetas	17 Parnaíba Baixo	31 Itapecuru-paraguaçu	45 Litoral ES
4 Paru	18 Parnaíba Médio	32 Contas	46 Paraíba do Sul
5 Foz Amazonas	19 Parnaíba Alto	33 Jequitinhonha	47 Litoral RJ
6 Solimões	20 Litoral CE PI	34 Litoral BA ES	48 Litoral SP
7 Purus	21 Jaguaribe	35 Paraguai 03	49 Litoral RJ SP
8 Madeira	22 Piranhas	36 Paraguai 02	50 Litoral SP PR SC
9 Tapajós	23 Litoral CE PB	37 Paraguai 01	51 Guaíba
10 Xingu	24 Paraíba	38 Paranaíba	52 Litoral RS
11 Tocantins Baixo	25 Litoral AL PE PB	39 Paraná RH1	53 Uruguai Alto
12 Tocantins Alto	26 São Francisco Submédio	40 Grande	54 Uruguai Médio
13 Araguaia	27 São Francisco Baixo	41 Tietê	55 Ibicuí
14 Gurupi	28 São Francisco Médio	42 Paranapanema	56 Negro RS

Fonte: ANA, 2013b.

Tabela 2 - 50 setores estudados

1 Arroz	26 Bebidas
2 Milho	27 Têxteis e outros
3 Cana-de-açúcar	28 Artefatos de couro e calçados
4 Soja	29 Produtos de madeira e outros
5 Frutas cítricas	30 Refino de petróleo e coque
6 Fruticultura	31 Álcool
7 Café	32 Elementos químicos e outros
8 Outras culturas	33 Siderurgia, metalúrgicos não ferrosos
9 Silvicultura	34 Máquinas e equipamentos
10 Extrativismo vegetal	35 Material elétrico e outros
11 Bovinos	36 Automóveis e outros
12 Outros pecuária	37 Indústria do mobiliário e diversos
13 Suínos	38 Energia elétrica (hidráulica)
14 Aves	39 Energia elétrica (outras fontes)
15 Extrativismo animal	40 Energia elétrica (cana)
16 Petróleo e gás natural	41 Transmissão e distribuição de energia elétrica, gás encanado
17 Extrativismo mineral	42 Água e esgoto
18 Mineral não metálico	43 Serviços de limpeza urbana
19 Abate	44 Construção
20 Fabricação de óleos vegetais	45 Comércio
21 Indústria de laticínios	46 Transporte
22 Beneficiamento de produtos vegetais	47 Outros serviços
23 Indústria do café	48 Educação e saúde mercantil
24 Outros produtos alimentares	49 Serviços domésticos
25 Fabricação de açúcar	50 Serviços públicos

Fonte: dados da pesquisa.

A aplicação do método descrito de estimação do sistema inter-regional de insumo-produto produziu, no entanto, alguns fluxos inter-regionais inconsistentes. Isso ocorreu porque, apesar da metodologia utilizada na estimação da matriz permitir o controle dos produtos que apresentarão, ou não, fluxos de comércio inter-regional, as distâncias

percorridas por esses fluxos não foram controladas, permitindo, portanto, comércio entre regiões bastantes distantes. Porém, em alguns casos específicos, fluxos dessa natureza não ocorrem. Assim, foi necessário verificar a consistência desses fluxos, de modo a evitar problemas na mensuração das interconexões a serem estudadas.

Visto que para o cumprimento dos objetivos propostos é necessário calcular o comércio de Água Virtual dentro do Brasil, foi dada maior atenção aos casos relacionados às atividades econômicas mais intensivas em recursos hídricos. Assim, baseado em estudos preliminares desta pesquisa, verificou-se que o setor de Cana-de-açúcar foi uma das atividades econômicas mais intensivas em água no ano de 2009 e, por isso, os seus fluxos inter-regionais receberam uma atenção especial.

De acordo com os dados estimados, 20% da produção de Cana-de-açúcar em 2009 estavam relacionados aos fluxos inter-regionais entre Bacias não vizinhas, percorrendo, portanto, longas distâncias. No entanto, de acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2013), a distância média entre as lavouras de Cana-de-açúcar e as unidades de produção no Brasil foi de 24,44 quilômetros (Km) na safra de 2011/2012.

Segundo a Companhia, isso ocorre para evitar a perda de qualidade da Cana e para não onerar demasiadamente o custo da matéria-prima. Portanto, visto a representatividade dos fluxos inter-regionais inconsistentes em relação ao Valor Bruto de Produção (VBP) do setor de Cana-de-açúcar, foi necessário corrigi-los para evitar conclusões equivocadas sobre a interdependência econômica e hídrica entre as Bacias.

Para a realização do ajuste mencionado, foi criada, em primeiro lugar, uma “espécie” de matriz de vizinhança binária pelo critério de contiguidade rainha, de acordo com o *shapefile* das 56 Bacias Hidrográficas do PNRH. (ANA, 2013a). Diz-se uma “espécie” de matriz de vizinhança porque, para o fim que foi aplicada, foi preciso assumir que uma dada região seja vizinha dela mesma e, portanto, que os elementos da diagonal principal fossem iguais a um. Assim, quando os elementos da matriz são iguais a um, significa que as Bacias correspondentes são vizinhas limítrofes, enquanto que quando tais elementos são iguais a zero, significa que as mesmas não são vizinhas.

A partir dessa estratégia, foi possível identificar os fluxos inter-regionais do setor de Cana-de-açúcar entre as regiões não vizinhas e corrigi-los. Sobre essa correção, no entanto, cabe destacar um detalhe. Como se está trabalhando em um sistema “setor x setor” deve-se ter em mente que o setor de Cana-de-açúcar, por exemplo, não produz somente Cana-de-açúcar, apesar de essa ser a sua atividade principal, mas sim outros produtos como Bovinos, Bebidas, entre outros, a depender da região.

Portanto, quando se verificaram os fluxos inter-regionais do setor de Cana-de-açúcar entre as Bacias não vizinhas, foi preciso garantir que tais fluxos se tratavam apenas do produto Cana. Diante dessa questão, a estratégia adotada para identificar apenas esses fluxos, foi corrigi-los apenas no que diz respeito aos deslocamentos intermediários entre o setor de Cana-de-açúcar e o próprio setor de Cana-de-açúcar, seguido da Fabricação de Açúcar e Alcool. Assim, se corrigiu apenas os fluxos do produto Cana-de-açúcar, uma vez que esse é o principal insumo para os três setores de destino.

Feitas tais considerações, os ajustes dos fluxos inter-regionais inconsistentes foram realizados de acordo com os detalhes descritos a seguir.

$$W = \begin{bmatrix} W^{11} & \dots & W^{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ W^{r1} & \dots & W^{rr} \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \text{Se } w_{ij}^{LM} = 1, \text{ então, } m_{ij}^{LM} &= z_{ij}^{LM} \\ \text{Se } w_{ij}^{LM} = 0, \text{ então, } m_{ij}^{LM} &= 0 \text{ e } m_{ij}^{MM} = z_{ij}^{MM} + z_{ij}^{LM} \end{aligned} \quad (12)$$

Onde:

W representa a matriz de vizinhança;

m_{ij}^{LM} representa cada elemento da nova matriz Z , a qual foi chamada de M , onde os fluxos inter-regionais inconsistentes do setor de Cana-de-açúcar foram corrigidos.

Desse modo, a soma ao longo das colunas da matriz M (vetor linha) foi mantida igual à da matriz Z , mas houveram diferenças na soma ao longo das linhas (vetor coluna), as quais foram transferidas para a variação de estoque dos respectivos setores e regiões.

Adicionalmente, os fluxos inter-regionais do setor de Água e esgoto também foram verificados, visto que se trata de uma atividade fundamental para a presente pesquisa. No entanto, nesse caso, os fluxos inconsistentes representaram apenas 0,0001% da produção total do setor em 2009, de modo que não foi necessário corrigi-los.

Assim, ajustaram-se apenas os fluxos intermediários de Cana-de-açúcar entre as Bacias Hidrográficas não vizinhas, de modo que a matriz insumo-produto ajustada manteve as produções totais por setor e região iguais aos originais.

3.2. Intensidade hídrica total

Sabe-se que o uso direto de água, muitas vezes, não é igual ao seu uso total. É preciso considerar o seu uso indireto, isto é, o volume de água incorporado nos insumos. Conforme já mencionado, ao volume de água direta e indiretamente incorporado na produção de um dado bem ou serviço, dá-se o nome de Água Virtual. (CHAPAGAIN; HOEKSTRA, 2004).

Nesse contexto, uma das metodologias disponíveis para se considerar os efeitos indiretos, trata-se do modelo de insumo-produto que, por meio dos multiplicadores de uso da água⁸, definidos como o volume total de água embutido na produção do setor “i” necessário para atender o aumento de uma unidade monetária na demanda final do setor “j”, é capaz de estimar a intensidade hídrica total, direta mais indireta, de um dado setor, conforme descrito a seguir.

$$G = \hat{C} * L \quad (13)$$

Onde:

$\hat{C}$ é uma matriz diagonal (n x n) com os elementos do vetor de coeficientes técnicos diretos de uso de água (retirada, consumo ou retorno) (c_j) (1 x n) ao longo da diagonal principal;

G é uma matriz (n x n) cujos elementos são os geradores de uso da água (retirada, consumo ou retorno);

L é a matriz inversa de Leontief, conforme definida anteriormente.

Assim, a partir dessa metodologia pode-se calcular o volume de água total utilizado pelos setores da economia e pelos elementos da demanda final das diferentes regiões, tais como: (i) Exportação; (ii) Consumo das Instituições sem Fins Lucrativos (ISFL); (iii) Consumo das Famílias; (iv) Formação Bruta de Capital Fixo (FBCF); (v) Consumo do Governo; e (vi) Variação de Estoque, conforme exposto pela equação 14⁹.

⁸ Esse tipo de multiplicador também é chamado de gerador.

⁹ O raciocínio apresentado se aplica a qualquer caso onde seja possível calcular os coeficientes técnicos diretos. As aplicações mais comuns se referem aos coeficientes técnicos diretos de emprego e valor adicionado.

$$V_w = G * Y \quad (14)$$

Onde:

V_w é a matriz de volume de Água Virtual incorporado na demanda final.

Desse modo, a partir dos resultados encontrados pela metodologia descrita, é possível analisar os fluxos inter-regionais de Água Virtual entre as Bacias e avaliar o padrão de interdependência hídrica entre elas. Assim, pode-se verificar como o uso da água em uma dada região pode influenciar o seu uso em outra localidade, via o comércio de bens e serviços. (DUARTE; YANG, 2011).

3.3. Coeficientes técnicos diretos de uso da água

Esta seção é dedicada à apresentação da metodologia empregada para a estimação dos coeficientes técnicos diretos de uso da água referentes à retirada, consumo e retorno desse recurso, por parte das 50 atividades econômicas de cada uma das 56 Bacias Hidrográficas do PNRH.

Antes, porém, é importante chamar atenção para o fato de que o uso dos recursos hídricos se refere a qualquer atividade humana que altere as condições naturais das águas superficiais ou subterrâneas. Desse modo, a vazão de retirada se refere à água captada diretamente dos corpos hídricos, a vazão de consumo diz respeito à água incorporada ao produto, e a vazão de retorno se refere à água que retorna ao meio ambiente após o seu uso. De outro modo, a vazão de retorno se refere à diferença entre a vazão de retirada e de consumo.

Nesse contexto, é importante destacar que para o cálculo dos coeficientes técnicos diretos, a presente pesquisa trabalha com o conceito de uso direto de água. Isto é, as informações sobre a vazão de água captada, consumida e/ou retornada se referem à captação, consumo e retorno diretamente nos corpos hídricos. Por exemplo, algumas atividades econômicas não demandam água do sistema de abastecimento público de modo expressivo, em muitos casos os setores intensivos nesse recurso investem em captação e tratamento próprios, pois teriam um custo muito alto ao adquiri-lo no sistema público.

Entre os diferentes fins para os quais os recursos hídricos são empregados, distingue-se dois grandes grupos, os usos consuntivos e não consuntivos. O primeiro se refere

ao volume de água captado que é consumido no processo produtivo de modo a não retornar ao curso de água. O segundo diz respeito aos casos onde o uso da água se dá no próprio corpo hídrico, sendo esse conceito válido tanto em termos quantitativos quanto qualitativos da água. (ANA, 2013b).

Os principais usos consuntivos são para o abastecimento de água para o uso humano, dessedentação animal, uso industrial e irrigação, enquanto que dentre os usos não consuntivos os mais importantes são a geração hidrelétrica, navegação, pesca/aquicultura, proteção da vida aquática e o turismo/recreação. (ANA, 2013b).

Visto que a ANA entende que “A demanda de água corresponde à vazão de retirada, ou seja, à água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos. [...]” (ANA, 2013b, p.87) e, como de acordo com as bases de dados utilizadas, o volume de água captado é igual à soma entre os volumes de consumo e retorno desse recurso, o presente estudo concentra suas análises sobre o uso de água utilizando a variável “retirada”¹⁰.

Assim, trabalharam-se com os dados sobre a água retirada, consumida e retornada dos usos consuntivos, a saber:

- a) demanda de irrigação;
- b) demanda para criação animal;
- c) demanda industrial;
- d) demanda das atividades de serviços;
- e) demanda para abastecimento público.

Além disso, outra questão que se coloca diz respeito ao tipo de recursos hídricos com o qual se está trabalhando. Visto que um dos maiores desafios sobre o gerenciamento desses recursos se referem ao volume de água disponível nos rios, lagos e reservatórios e, em alguns casos, nos lençóis freáticos e aquíferos, optou-se por trabalhar com a chamada Água Azul.

Por sua vez, as estimativas dos coeficientes técnicos diretos de retirada, consumo e retorno de água seguiram uma metodologia diferente para cada conjunto de setores da economia. As próximas seções são dedicadas à apresentação dessas metodologias.

¹⁰ Todas as informações sobre as estratégias adotadas para o tratamento dos dados, bem como sobre os resultados detalhados de todos os passos desta pesquisa estão disponíveis na homepage do NEREUS, <https://www.usp.br/nereus/?fontes=dados-outros>. Como os dados sobre o consumo e retorno também foram trabalhados, os mesmos constam nessa referência.

3.3.1. Agricultura irrigada

O Brasil possui uma superfície territorial de 851 milhões de hectares (Mha), sendo que cerca de 29% dessa superfície é explorada com agropecuária, entre as quais 9% são destinadas às lavouras e 20% às pastagens. No entanto, apesar do potencial de solos para o desenvolvimento sustentável da irrigação¹¹ no país alcançar cerca de 30 Mha, o qual é equivalente a 3,5% da superfície territorial nacional, somente uma pequena parcela é explorada. (ANA, 2009).

De acordo com o Censo Agropecuário de 2006, a área irrigada¹² no Brasil compreendeu 4,54 Mha, ocupando, portanto, 15% da área irrigável do país nesse período. Desse modo, 7,4% da área total destinadas às lavouras temporárias e permanentes foram irrigadas em 2006. (IBGE, 2009a).

No entanto, apesar da área irrigada ser pequena em relação à área irrigável e à área total destinada às lavouras, seus incrementos anuais têm se mantido elevados nos últimos anos. De acordo com a ANA (2016b), a irrigação brasileira tem crescido às taxas médias anuais entre 4,4% e 7,3% desde a década de 1960. Desse modo, partiu de 462 mil hectares (ha) equipados para irrigação em 1960, para cerca de 1 milhão de ha na década de 1970 e de 3 milhões de ha na década de 1990. Assim, estima-se que em 2014 a marca de 6,1 Mha sob irrigação foi superada.

Figura 2 - Evolução da área irrigada brasileira (1960 - 2014)

Fonte: ANA, 2016b.

¹¹ A irrigação se refere à “[...] prática de aplicar água, que não a da chuva, diretamente à superfície do solo cultivado com pastos ou culturas, em quantidades e intervalos determinados, com a finalidade de fornecer água às plantas em condições apropriadas ao seu crescimento e produção.” (IBGE, 2009a, p.52).

¹² A área irrigada compreende a área que foi efetivamente irrigada, enquanto a área irrigável se refere à área que potencialmente pode ser irrigada visto a disponibilidade hídrica local.

O expressivo aumento da agricultura irrigada no Brasil nas últimas décadas vem fazendo com que a área irrigada cresça sempre a taxas superiores aquelas referentes ao crescimento da área plantada total, de modo que isso tem produzido efeitos adversos sob a disponibilidade dos recursos hídricos em nível local. (ANA, 2015a).

De acordo com a Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (FEALQ) (2014), 37% da área irrigada atualmente, a qual correspondeu por cerca de 2,2 Mha em 2014, não contam com a possibilidade de expansão frente ao esgotamento da água disponível em suas Bacias.

Visto que o principal uso de água por parte das atividades agrícolas diz respeito à irrigação e esse se dá, também, em regiões críticas do ponto de vista da disponibilidade hídrica, é importante contabilizar o volume de água captado destinado a esse fim. Além disso, isso também é fundamental para se estimar o volume de água utilizado indiretamente pelos demais setores, visto que os produtos agrícolas são importantes insumos.

A fim de calcular os coeficientes técnicos diretos de uso da água por parte dos setores agrícolas, os quais se referem aos setores 1 ao 9, conforme já apresentado, utilizaram-se os dados produzidos pelo estudo da FBB, MMA e FUNARBE (2011), o qual disponibiliza as seguintes informações:

- a) Coeficientes diretos de retirada, consumo e retorno de água para irrigação, medidos em litros por segundo e por hectare (l/s/ha), de 2006;
- b) Área irrigada, medida em ha, no ano de 2006.

Por sua vez, tais informações estão disponíveis para 59 culturas agrícolas de acordo com o mês de cultivo do ano de 2006 e por Bacias Hidrográficas, as mesmas trabalhadas na presente pesquisa. Adicionalmente, essa base de dados também disponibiliza informações sobre a vazão de retirada, consumo e retorno de água em litros por segundo (l/s) por cultura e mês do ano de 2006, os quais se referem à multiplicação entre os coeficientes correspondentes e a área irrigada.

Com base nessas informações, o cálculo dos coeficientes técnicos diretos de retirada, consumo e retorno de água das culturas agrícolas de cada Bacia, seguiu os procedimentos descritos a seguir¹³.

¹³ Para o cálculo dos coeficientes técnicos diretos de uso de água por parte das culturas agrícolas, foi considerado que não houve incremento da área irrigada no país no intervalo entre 2006 (data do último Censo Agropecuário, o qual traz informações sobre a área irrigada, até a ocasião desta pesquisa) e 2009 (data da matriz inter-regional de insumo-produto estimada e utilizada na presente pesquisa).

Visto que os principais objetivos deste estudo se referem à análise sobre a estrutura do uso e da interdependência hídrica entre as Bacias, a não atualização da área irrigada por Bacia Hidrográfica entre 2006 e 2009 não compromete os resultados. Desse modo, seguiu-se o procedimento realizado em Ussami (2014).

Adicionalmente, sobre essa hipótese é importante destacar que, mesmo diante das referidas considerações, ao longo da pesquisa avaliaram-se duas possibilidades de atualização da área irrigada das Bacias de 2006 para

$$\text{Coef_retirada}_{cb} (l/m) = \text{Coef_retirada}_{cb} (l/s) * 2.592.000 \quad (15)$$

$$Q_{\text{retirada}_{cb}} (l/m) = \text{Coef_retirada}_{cb} (l/m) * \text{Área_irrigada no mês}_{cb} (ha) \quad (16)$$

$$Q_{\text{retirada}_{cb}} (l/a) = \sum_{mês=1}^{12} Q_{\text{retirada}_{cb}} (l/m)_{mês} \quad (17)$$

$$Q_{\text{retirada}_{cb}} (m^3/a) = Q_{\text{retirada}_{cb}} (l/a) / 1000^{14} \quad (18)$$

Onde:

$\text{Coef_retirada}_{cb} (l/m)$: coeficiente de retirada para irrigação da cultura “c” na Bacia “b”, em litros por mês (l/m);

$\text{Coef_retirada}_{cb} (l/s)$: coeficiente de retirada para irrigação da cultura “c” na Bacia “b”, em l/s;

2.592.000: número de segundos em um mês de 30 dias;

$Q_{\text{retirada}_{cb}} (l/m)$: vazão de retirada referente à cultura “c” na Bacia “b”, em l/m;

$\text{Área_irrigada no mês}_{cb} (ha)$: área irrigada na cultura “c” da Bacia “b”, em ha;

$Q_{\text{retirada}_{cb}} (l/a)$: vazão de retirada referente à cultura “c” da Bacia “b”, em litros por ano (l/a);

$Q_{\text{retirada}_{cb}} (m^3/a)$: volume de retirada referente à cultura “c” da Bacia “b”, em metros cúbicos por ano (m^3/a);

Como se está trabalhando em um sistema “setor x setor”, foi necessário, ainda, empregar mais um ajuste, onde agregaram-se os 59 produtos agrícolas em 9 setores da agricultura.

2009: (i) com base na razão entre área irrigada e colhida de 2006 e a multiplicação do resultado obtido pela área colhida de 2009; e/ou (ii) pela aplicação da taxa de crescimento da área irrigada verificada em anos anteriores ao período entre 2006 e 2009. No entanto, visto que segundo a ANA, os resultados obtidos dessa forma carecem de confiabilidade, optou-se por não prosseguir com esses procedimentos.

De acordo com a agência, não há correlação entre a evolução das áreas irrigadas e a de lavouras, além de que as áreas de pastagens irrigadas são computadas como área irrigada, mas não como lavouras. (ANA, 2009).

¹⁴ Os cálculos foram análogos para os coeficientes técnicos diretos e vazões de consumo e retorno de água.

Desse modo, obteve-se, enfim, o volume de água (m^3/ano) utilizado pelos setores da agricultura irrigada de cada Bacia estudada para o ano de 2009. Assim, com essas informações disponíveis, foram calculados os coeficientes técnicos diretos de uso da água para fins de irrigação das atividades agrícolas contempladas no sistema inter-regional de insumo-produto, conforme exposto pela equação a seguir.

$$\text{CDA}_{\text{sb}} (\text{m}^3/\text{MR\$}) = \text{Qretirada}_{\text{sb}} (\text{m}^3/\text{a}) / \text{VBP}_{\text{sb}} (\text{MR\$}) \quad (19)$$

Onde:

$\text{CDA}_{\text{sb}} (\text{m}^3/\text{MR\$})$: coeficiente técnico direto de retirada, consumo ou retorno de água do setor “s” localizado na Bacia “b”, medido em metros cúbicos por milhão de Reais ($\text{m}^3/\text{MR\$}$) de 2009;

$\text{Qretirada}_{\text{sb}} (\text{m}^3/\text{a})$: volume de retirada referente ao setor “s” da Bacia “b”, em m^3/a ;

$\text{VBP}_{\text{sb}} (\text{MR\$})$: VBP do setor “s” localizado na Bacia Hidrográfica “b”, medido em milhões de Reais (MR\$) de 2009, obtido de acordo com a matriz inter-regional de insumo-produto estimada.

Quanto ao setor de Extrativismo Vegetal (setor 10), trata-se de um processo de exploração dos recursos vegetais nativos que compreende a coleta ou apanha de produtos como madeiras, látex, sementes, fibras, frutos e raízes, entre outros. (IBGE, 2014). Desse modo, entende-se que não se trata de uma atividade intensiva em recursos hídricos, de modo que, assim como Ussami (2014), assumiu-se que o seu uso direto de água seja igual a zero.

3.3.2. Pecuária

Com relação à estimação das vazões de captação, consumo e retorno de água para fins de criação animal, utilizou-se a metodologia empregada no estudo do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e Consórcio FAHMA/DZETA (2005). Em seguida, calcularam-se os coeficientes técnicos diretos de uso da água para os setores da pecuária (setores 11-14), conforme descrito nesta seção.

Primeiramente, empregaram-se os dados referentes à vazão de retirada e à taxa de retorno de água por espécie animal, presentes no estudo do ONS e Consórcio FAHMA/DZETA (2005), bem como em Couto (2002), conforme descritos a seguir. Em

seguida, essas informações foram combinadas com os dados sobre o tamanho dos rebanhos, disponíveis na Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) de 2009 do IBGE (2009b; 2015a).

Tabela 3 - Vazão de retirada *per capita* de água e taxa de retorno por tipo de rebanho

Espécie animal	Vazão de retirada (Litros por dia)	Taxa de retorno (%)
Bovino	50	0,2
Suíno	12,5	0,2
Bubalino	50	0,2
Equino	50	0,2
Asinino	50	0,2
Muar	50	0,2
Ovino	10	0,2
Caprino	10	0,2
Aves	0,36	0,2
Coelhos*	0,25	0,2

Fonte: ONS; CONSÓRCIO FAHMA/DZETA, 2005, *COUTO, 2002.

No processo de levantamento de dados, verificou-se que o Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA) dispõe de duas tabelas de informações acerca do rebanho nacional no ano de 2009. De acordo com a chamada “Série Encerrada”, o rebanho nacional em 2009 totalizou 1.520.074.781 cabeças, enquanto a tabela que se refere à nova revisão da PPM, a qual, a partir de 2013, passou a não contabilizar muares e asininos, totalizou menos cabeças para o período, 1.517.532.462.

Ao verificar que o volume de água diário demandado por muares e asininos é tão alto quanto o demandado pelos bovinos, julgou-se importante considerá-los na contabilização do uso dos recursos hídricos, justificando, portanto, a utilização da “Série Encerrada”. Diante disso, os coeficientes técnicos diretos de uso da água, em m³/MR\$, dos setores pecuários foram estimados de acordo com a descrição a seguir.

$$Qw_b^h(l/d) = Herd_b^h * q^h \quad (20)$$

$$Qr_b^h(l/d) = Qw_b^h(l/d) * k \quad (21)$$

$$Qc_b^h(l/d) = Qw_b^h(l/d) - Qr_b^h(l/d) \quad (22)$$

Onde:

O subscrito “b” distingue as Bacias e o sobrescrito “h” distingue os tipos de rebanho;

l/d: Litros por dia;

Qw_b^h : vazão de captação de água para criação animal do rebanho “h” na Bacia “b”;

$Herd_b^h$: tamanho do rebanho “h” em 2009 na Bacia “b”;

q^h : vazão de captação de água *per capita* por tipo de rebanho “h”;

Qr_b^h : vazão de retorno de água referente ao rebanho “h” na Bacia “b”;

k: taxa de retorno de água;

Qc_b^h : vazão de consumo de água do rebanho “h” na Bacia “b” em 2009.

A partir dos passos descritos, foi possível estimar as vazões de captação, consumo e retorno de água pelos diferentes tipos de rebanho em cada Bacia Hidrográfica no ano de 2009. Em seguida, as suas unidades de medida foram transformadas de l/d para m³/ano e a vazão de água utilizada por tipo de rebanho foi transformada em volume de água utilizado pelos setores da pecuária.

Por fim, tais informações foram divididas pelo VBP de 2009 dos respectivos setores. Desse modo, os coeficientes técnicos diretos de uso da água para os setores da pecuária refletem as diferentes composições dos rebanhos nas regiões analisadas.

No que se trata ao setor de extrativismo animal (setor 15), como o mesmo se refere às atividades de pesca e aquicultura, e, portanto, tais atividades não são intensivas no uso consuntivo de recursos hídricos, assumiu-se que o seu coeficiente técnico direto de uso da água é igual a zero.

3.3.3. Indústria

Sobre as estimativas dos coeficientes técnicos diretos de uso da água por parte dos setores industriais (16-37), foi utilizada, inicialmente, a base de dados construída por Ussami (2014). Por sua vez, essa base disponibiliza os coeficientes técnicos diretos de uso da água para 59 setores industriais do Brasil, os quais são uma adaptação dos dados disponíveis em FBB, MMA e FUNARBE (2011). Enquanto a última disponibiliza os referidos coeficientes em termos de m³ por unidade física, tais como toneladas, Ussami (2014) converteu essas informações em m³/MR\$ de 2009.

No entanto, como a autora estimou os coeficientes técnicos diretos de uso de água para 59 setores da indústria nacional e a presente pesquisa trabalha com 21 setores industriais para cada uma das 56 Bacias Hidrográficas, foi necessária uma adaptação dos dados.

Em primeiro lugar, obtiveram-se os coeficientes técnicos diretos de uso de água dos setores da indústria nacional de acordo com o recorte setorial da presente pesquisa. Durante esse processo, ao comparar o recorte setorial da indústria desta pesquisa com o trabalhado por Ussami (2014), verificou-se que seria possível agregar os coeficientes de retirada, consumo e retorno de 50 atividades industriais da autora em 12 setores industriais abordados neste estudo, restando, portanto, 9 setores.

Em seguida, com vistas a produzir informações sobre os coeficientes técnicos diretos de uso de água que refletissem as heterogeneidades das indústrias regionais, adotou-se a seguinte estratégia.

A partir dos dados sobre os VBPs das atividades industriais em nível municipal para o ano de 2009¹⁵, cujo recorte setorial corrobora com o disponível na pesquisa de Ussami (2014), agregaram-se tais informações de acordo com a composição municipal das Bacias Hidrográficas. Desse modo, obtiveram-se os VBPs dos 50 setores industriais de cada Bacia.

Em seguida, transformaram-se os 50 coeficientes técnicos diretos de uso da água nacionais em 12 coeficientes técnicos diretos de uso de água de cada Bacia via a média dos primeiros ponderada pelos VBPs dos 50 setores dessas Bacias. Desse modo, obtiveram-se os coeficientes técnicos diretos de uso da água de 12 setores industriais regionalizados de acordo com as Bacias Hidrográficas trabalhadas. Por sua vez, os coeficientes de uso de água dos demais 9 setores industriais de cada Bacia se mantiveram iguais aos coeficientes nacionais calculados por Ussami (2014).

3.3.4. Água e esgoto e o setor de serviços

O setor de Água e Esgoto (42) se refere, principalmente, às atividades relacionadas ao saneamento básico, isto é, ao abastecimento de água potável e à coleta, o tratamento e à disposição final dos esgotos. (IBGE, 2011).

Por sua vez, “O serviço de abastecimento de água através de rede geral caracteriza-se pela retirada da água bruta da natureza, adequação de sua qualidade, transporte e fornecimento à população através de rede geral de distribuição. [...]”. (IBGE, 2010, p. 33).

¹⁵ Os VBPs das atividades industriais em nível municipal referentes ao ano de 2009 foram extraídos do sistema inter-regional de insumo-produto do NEREUS da USP, o qual foi estimado de acordo com as metodologias disponíveis em Guilhoto e Sesso Filho (2005), Guilhoto et al. (2010) e Guilhoto et al (2017).

No entanto, além desse modo de abastecimento existem, ainda, maneiras alternativas, tais como água proveniente de chafarizes, bicas, minas, poços particulares, carros-pipas, cisternas, entre outros. Porém, 99% dos municípios brasileiros realizavam abastecimento de água por rede geral de distribuição em pelo menos um distrito, ou parte dele, em 2008. (IBGE, 2010).

Diante disso, para o cálculo dos coeficientes técnicos diretos de retirada, consumo e retorno de água do setor de Água e esgoto considerou-se apenas o volume de água captado destinado ao abastecimento público via rede geral de distribuição¹⁶.

Assim, no que se refere à estimativa do volume de água captado para fins de abastecimento público, utilizaram-se os dados mais recentes produzidos pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) do IBGE. Optou-se por adotar a referida base de dados, em contrapartida aos disponibilizados pelo Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), visto que o primeiro é baseado em um levantamento censitário e traz as informações que seriam estimadas caso a segunda opção fosse utilizada.

Além disso, é importante chamar a atenção para o fato de que, ao tentar trabalhar com as informações do SNIS, e ao comparar os resultados obtidos com os constantes na PNSB, verificou-se uma diferença significativa no volume total de água captado no país para fins de abastecimento público, além de diferenças importantes na composição regional desse indicador. Provavelmente, tal disparidade se deu frente às suposições empregadas quando da utilização da base do SNIS. Portanto, ao trabalhar com as informações do PNSB espera-se minimizar os erros advindos da manipulação dos dados.

Entre outras variáveis, a PNSB traz informações sobre o volume total de água distribuído por dia, em m^3 , para cada município do país, para o ano de 2008. Desse modo, assumiu-se que o volume de água captado foi igual ao volume distribuído¹⁷. No entanto, visto que o ano de referência da presente pesquisa diz respeito a 2009, foi necessário atualizar tais informações.

Assim, diante da indisponibilidade de dados mais atuais, empregou-se a seguinte estratégia. De acordo com o PNSB (IBGE, 2010), o volume total de água distribuído no Brasil em 2000 para fins de abastecimento foi de 43.999.678 metros cúbicos por dia (m^3/d)¹⁸,

¹⁶ O volume de água utilizado no processo de coleta e tratamento de esgoto não foi considerado porque esses processos demandam pouca água, sendo baseados, principalmente, em tratamento químico.

¹⁷ Essa, por sua vez, não parece ser uma suposição forte visto que não há muita perda no processo de captação, de modo que o volume de água captado é parecido com o volume de água distribuído.

¹⁸ Análogo à $16.059.882.470 m^3/ano$.

enquanto que em 2008 foi de 61.063.492 m³/d¹⁹. Portanto, houve um crescimento de 38,8% no período, o qual corresponde a um crescimento anual médio de 4,8%. A partir desse indicador, empregou-se essa taxa anual de crescimento para a atualização dos dados sobre o volume total de água distribuído no país entre 2008 e 2009, conforme descrito pela equação a seguir. Posteriormente, agregaram-se os dados obtidos de acordo com a composição municipal das Bacias Hidrográficas estudadas.

$$VR_{2009} = 1,048 * VR_{2008} \quad (23)$$

Onde:

VR₂₀₀₉: Volume de água captado em cada município em 2009 para fins de abastecimento público;

VR₂₀₀₈: Volume de água captado em cada município em 2008 para fins de abastecimento público.

Adicionalmente, calcularam-se o volume de água consumido e retornado referente ao abastecimento público em cada Bacia Hidrográfica. Para isso, foi necessário, em primeiro lugar, subtrair do volume de água captado as perdas na distribuição. O Índice de Perda na Distribuição (IPD) é a diferença entre o volume disponível para distribuição e o volume consumido.

De acordo com a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA, 2011), o IPD médio nacional de 2009 foi de 41,6%. Isto é, 41,6% da água disponível para abastecimento público no Brasil em 2009 foi perdida na distribuição devido a vazamentos, falta de manutenção e infraestrutura antiga.

Nessa etapa, portanto, assumiram-se que os IPDs municipais eram iguais aos IPDs estaduais, os quais são apresentados na tabela 4. Em seguida, agregaram-se tais valores por meio de uma média aritmética simples de acordo com a composição municipal das Bacias e se deduziu tal perda do volume captado, conforme descrito na sequência.

¹⁹ Análogo à 22.288.174.580 m³/ano.

Tabela 4 - Índice de Perda na Distribuição (%)

1	Acre	AC	46,0
2	Alagoas	AL	62,7
3	Amapá	AP	70,1
4	Amazonas	AM	62,3
5	Bahia	BA	38,0
6	Ceará	CE	40,7
7	Distrito Federal	DF	27,7
8	Espírito Santo	ES	35,9
9	Goiás	GO	34,0
10	Maranhão	MA	51,0
11	Mato Grosso do Sul	MS	38,8
12	Minas Gerais*	MG	35,1
13	Pará	PA	45,9
14	Paraíba	PB	41,4
15	Paraná	PR	32,0
16	Pernambuco	PE	65,0
17	Piauí	PI	61,1
18	Rio de Janeiro	RJ	51,5
19	Rio Grande do Norte	RN	60,3
20	Rio Grande do Sul	RS	44,7
21	Rondônia	RO	66,3
22	Roraima	RR	53,1
23	Santa Catarina	SC	40,7
24	São Paulo	SP	34,8
25	Sergipe	SE	58,5
26	Tocantins	TO	33,0
27	Mato Grosso**	MT	41,6
Média Nacional			41,6

*Média das estimativas disponíveis para Minas Gerais.

**Devido à indisponibilidade de dados, utilizou-se a média nacional.

Fonte: SNSA, 2011.

$$VC_{2009} = VR_{2009} * (1 - IPD) \quad (24)$$

Onde:

VC_{2009} : Volume de água consumido em cada Bacia em 2009, advindo do sistema de abastecimento público.

Em seguida, o fluxo de retorno foi estimado a partir do coeficiente de retorno (Cr), o qual se refere à taxa entre a vazão de retorno e de consumo para o abastecimento público. A taxa de retorno de 0,8 foi adotada de acordo com o recomendado pela norma brasileira 9649/1986 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). (HOROCHOSKI et al. 2011). Assim, o fluxo de retorno foi obtido de acordo com a descrição a seguir.

$$V_{\text{Retorno}_{2009}} = V_{C_{2009}} * C_r \quad (25)$$

Onde:

$V_{\text{Retorno}_{2009}}$: Volume de água retornado em cada Bacia em 2009, referente ao abastecimento público.

Adicionalmente, no que se refere aos setores 38 a 40, os quais são referentes à produção de Energia Elétrica, como tais atividades não são intensivas em uso consuntivo de recursos hídricos, assumiram-se que os seus coeficientes técnicos diretos de captação, consumo e retorno de água são iguais a zero.

De modo análogo, a mesma suposição foi feita para os setores de Transmissão de energia elétrica e gás encanado (41), Serviços e limpeza urbana (43) e Construção (44), bem como para os outros setores de serviços (setores 45-50). Visto que essas atividades, na maioria dos casos, não captam água diretamente dos corpos hídricos, mas consomem água proveniente do sistema de abastecimento, assumiram-se que os seus coeficientes técnicos diretos de retirada, consumo e retorno de recursos hídricos foram nulos no período.

4. ANÁLISE ESTRUTURAL: ECONOMIA NACIONAL E REGIONAL

Este capítulo propõe uma análise dos resultados obtidos sobre as características estruturais da economia nacional e das economias das Bacias Hidrográficas, bem como sobre a interdependência econômica entre essas regiões, frente as metodologias e bases de dados empregadas. Assim, tem-se uma medida acerca das regiões mais importantes do ponto vista econômico e as respectivas inter-relações.

4.1. Estrutura produtiva nacional

Descritos os passos metodológicos percorridos, faz-se necessário tecer, em primeiro lugar, uma análise acerca dos primeiros dados obtidos, isto é, sobre o sistema inter-regional de insumo-produto brasileiro estimado para o ano de 2009. Desse modo, será apresentado um cenário geral a respeito das características estruturais da economia nacional, o qual servirá para a corroboração dos dados estimados com os divulgados pela literatura e como base de comparação para se analisar, nas próximas seções, as economias regionais.

De acordo com as informações encontradas, o PIB do Brasil, a preços de mercado, foi de R\$3,2 trilhões em 2009²⁰, algo em torno de 11% do PIB americano no período²¹. Analisando pela ótica da demanda, o Consumo das Famílias foi responsável por quase 60% desse resultado, seguido dos Gastos do Governo (22%), Investimentos (18%), Exportações (10,9%) e Importações (10,7%).

Sobre essas variáveis, muito se fala acerca da importância do Consumo das Famílias na composição do PIB. Mas, afinal, o que se pode dizer sobre a sua estrutura? Isto é, qual o padrão de consumo das famílias brasileiras? É claro que a resposta para essa pergunta varia substancialmente a depender do nível de renda das famílias, bem como das suas localizações. No entanto, a título de introdução ao estudo sobre a estrutura da economia nacional começará analisando a média nacional.

No que se refere à economia brasileira, os dados estimados mostraram que 55% do Consumo das Famílias em 2009 se deu nas atividades denominadas Outros serviços²², seguido do Comércio, Educação e saúde mercantil.

²⁰ Todos os valores monetários apresentados na presente pesquisa estão em preços de 2009.

²¹ PIB do Brasil em 2009 (preços de mercado): R\$3,2 trilhões ou US\$1,6 trilhões, visto a seguinte taxa de câmbio: 1,9976. (Banco de dados do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEADATA), 2017). PIB dos Estados Unidos em 2009 (preços de mercado): US\$ 14,4 trilhões. (WORD BANK, 2016).

²² Outros serviços: (i) serviços de telefonia e telecomunicações; (ii) atividades de rádio, televisão, cinema, agências de notícias e informática; (iii) intermediação financeira e seguros; (iv) aluguel de meios de transporte

Outras atividades importantes para essa categoria da demanda final foram os Transportes, Automóveis, caminhões, ônibus, peças e outros veículos, bem como o setor de Elementos químicos, químicos diversos, borracha e plástico²³. Em seguida se destacou o setor de Abate²⁴.

Quanto aos Gastos do Governo, 91% foram destinados ao provimento de Serviços Públicos, tais como educação, saúde, administração e seguridade social. Seguindo o mesmo raciocínio, verificaram-se que 50% dos bens de investimentos foram adquiridos do setor de Construção, o qual, juntamente com os setores de Máquinas e equipamentos²⁵ e Automóveis, caminhões, ônibus, peças e outros veículos, foram responsáveis por 75% dos provimentos desse tipo de bem na economia em 2009.

Adicionalmente, sabe-se que as exportações configuram uma atividade importante para o país. Em 2009, elas foram responsáveis por 10,9% do PIB, de modo que a indústria foi o principal setor exportador no período, responsável por 65% das vendas internacionais, ainda que baseadas em indústrias extrativistas e de baixa e média alta intensidade tecnológica²⁶. Em seguida, destacaram-se o setor de serviços (26%), agricultura (8%) e pecuária (1%).

Entre as atividades que compõem tais setores, as mais importantes para a pauta exportadora foram os Outros Serviços, Siderurgia, metalúrgicos não ferrosos²⁷, Automóveis, caminhões, ônibus, peças e outros veículos, Extrativismo mineral (exceto combustíveis)²⁸, seguido dos Elementos químicos, químicos diversos, borracha, plásticos, Abate, Petróleo e

terrestres; (v) serviços imobiliários e aluguéis; (vi) serviços de manutenção e reparação; (vii) alojamento, alimentação turística e não turística; (viii) serviços prestados às empresas; (ix) atividades recreativas e culturais; e (x) outros serviços.

²³ Elementos químicos, químicos diversos, borracha e plástico: (i) outros produtos químicos inorgânicos; (ii) adubos e fertilizantes; (iii) fabricação de petroquímicos básicos; (iv) fabricação de outros químicos orgânicos; (v) resinas, fibras e filamentos artificiais e sintéticos; (vi) farmacêuticos; (vii) farmacêuticos de uso veterinário; (viii) defensivos agrícolas; (ix) perfumaria e cosméticos; (x) limpeza doméstica e outros; (xi) tintas, vernizes, esmaltes e lacas; (xii) produtos e preparados químicos diversos; (xiii) artigos de borracha; e (xiv) artigos de plásticos.

²⁴ Abate: (i) abate e preparação e produtos de carne; (ii) carne suína fresca, refrigerada e congelada; (iii) carne de aves fresca, refrigerada ou congelada; e (iv) pescado industrializado.

²⁵ Máquinas e equipamentos: (i) máquinas e implementos agrícolas; (ii) outras máquinas e equipamentos; (iii) eletrodomésticos; (iv) máquinas para escritório e equipamento de informática; e (v) máquinas, aparelhos e materiais elétricos.

²⁶ De acordo com a classificação das indústrias baseada na tecnologia. (*Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), 2003).

²⁷ Siderurgia, metalúrgicos não ferrosos: (i) fabricação de aço e derivados; (ii) metalurgia de alumínio e cobre; (iii) outros produtos metalúrgicos não ferrosos; (iv) fundição; e (v) produtos de metal, exclusive máquinas e equipamentos.

²⁸ Extrativismo mineral (exceto combustíveis): (i) minério de ferro; (ii) extração de carvão mineral; (iii) extração de minerais não ferrosos; e (iv) extração de minerais não-metálicos.

gás natural, Máquinas e equipamentos, Soja e Fabricação de açúcar. Esses, por sua vez, foram responsáveis por mais de 60% das exportações nacionais no período²⁹.

No que se refere às importações, a matriz estimada permite identificar quais os principais setores e regiões importadores, mas não quais produtos foram importados. De qualquer modo, visto que um dos objetivos desta pesquisa é avaliar o fluxo inter-regional de Água Virtual no país, tal limitação não se configura em algo relevante para o escopo deste trabalho e, portanto, não se estudará sobre a estrutura das importações regionais advindas de outros países.

No entanto, tratar acerca dos fluxos de Água Virtual embutidos no comércio internacional das Bacias configura-se em um avanço importante, o qual poderá ser realizado empregando os dados produzidos por este estudo.

As informações extraídas do sistema inter-regional de insumo-produto também mostraram que em 2009 o VBP do país foi de R\$5,5 trilhões, cujo principal responsável foi o setor de serviços (62%), corroborando, portanto, com os dados oficiais. De acordo com a Pesquisa Anual de Serviços (PAS), esse setor vem assumindo papel importante no desenvolvimento da economia brasileira. (IBGE, 2013). Em seguida, se destacaram a indústria (33%), agricultura (3%) e a pecuária (2%).

Em um nível mais desagregado de análise, no que se refere às atividades do terceiro setor, o chamado Outros serviços, Serviços públicos e Comércio foram os mais importantes para a produção do próprio setor e para a produção nacional, visto que juntas tais atividades responderam por 45% da VBP nacional no período.

Entre as atividades industriais, as principais foram: (i) Elementos químicos, químicos diversos, borracha e plásticos; (ii) Automóveis, caminhões, ônibus, peças e outros veículos; (iii) Siderurgia, metalúrgicos não ferrosos; (iv) Máquinas e equipamentos; e (v) Refino de petróleo e coque. Desse modo, pode-se verificar que entre os 22 setores industriais estudados, 5 deles representaram mais de 50% da produção industrial e 17% do VBP nacional em 2009.

De modo análogo, entre as atividades agrícolas, a chamada Outras culturas³⁰, além da Soja e da Cana-de-açúcar, foram as que mais contribuíram para a produção do setor (62%), enquanto responderam por 2% do VBP nacional. Por sua vez, entre os setores da pecuária, os

²⁹ A ordem de importância dos setores para a pauta exportadora de 2009 difere dos dados do MDIC devido ao modo como foram agregados. De acordo com o MDIC (2016), os principais setores exportadores em 2009 foram a Soja, Minerais metalúrgicos (minério de ferro), Petróleo e derivados, Açúcar e álcool.

³⁰ Outras culturas: (i) trigo em grão e outros cereais; (ii) feijão; (iii) outros produtos e serviços da lavoura; (iv) mandioca, (v) fumo em folha; (vi) algodão herbáceo.

destaques foram a criação de Bovinos (61%) e Aves (25%), os quais juntos foram responsáveis por 1,6% do VBP do país no período.

Além de identificar quais as principais atividades econômicas que responderam pela produção nacional, é importante verificar em quais delas o emprego se concentrou. Esse tipo de informação pode ser útil porque, entre outras questões, existe uma discussão sobre a existência ou não de um *trade-off* entre a geração de empregos e a sustentabilidade ambiental.

Sobre esse tema, é interessante destacar, por exemplo, que a iniciativa do *International Labour Organization* (ILO) em promover o chamado *Green Job*³¹, está em sintonia com o que o UNEP chama de transição para uma Economia Verde³², segundo a qual é possível promover o crescimento econômico, a sustentabilidade ambiental e a geração de empregos. Portanto, de acordo com a abordagem dessas instituições o *trade-off* entre emprego e sustentabilidade não necessariamente se verifica.

Diante dessas considerações, produzir e analisar informações acerca da intensidade de mão-de-obra das atividades econômicas em um recorte regional detalhado pode se fazer útil para a presente pesquisa, bem como para futuras investigações interessadas no tema.

As informações estimadas mostraram que a maior parcela das 96.647.139 pessoas ocupadas no ano de 2009 foi empregada no setor de serviços (70%), seguido da indústria (13%), agricultura (12%) e pecuária (5%). Em um nível mais desagregado, o setor Outros serviços (20%) se destacou como o maior empregador, seguido do Comércio (16%), Serviços públicos (11%), Serviços domésticos (7%) e Construção (7%), os quais juntos representaram mais de 60% da mão-de-obra empregada no país. Entre os setores agropecuários, os principais empregadores foram Outras culturas (5%), Fruticultura (2%), Milho (2%), Bovinos (3%) e Aves (2%).

Assim, tal como a dinâmica verificada na distribuição setorial do emprego, a distribuição da Massa Salarial (MS), a qual totalizou R\$1.114.095 milhões, seguiu o mesmo padrão em 2009. Isto é, a MS foi maior no setor de serviços (78%), seguido da indústria (18%), agricultura (2,3%) e pecuária (1,7%). Sendo que as atividades que mais se destacaram

³¹ “We define green jobs as work in agricultural, manufacturing, research and development (R&D), administrative, and service activities that contribute substantially to preserving or restoring environmental quality. Specifically, but not exclusively, this includes jobs that help to protect ecosystems and biodiversity; reduce energy, materials, and water consumption through high efficiency strategies; de-carbonize the economy; and minimize or altogether avoid generation of all forms of waste and pollution.” (UNEP, 2008b, p. 3).

³² “UNEP defines a green economy as one that results in “improved human well-being and social equity, while significantly reducing environmental risks and ecological scarcities” (UNEP 2010). In its simplest expression, a green economy is low carbon, resource efficient, and socially inclusive. In a green economy, growth in income and employment should be driven by public and private investments that reduce carbon emissions and pollution, enhance energy and resource efficiency, and prevent the loss of biodiversity and ecosystem services.” (UNEP, 2011, p.16).

foram Serviços públicos (28%), Outros serviços (20%) e Comércio (11%), os quais representaram cerca de 60% dos salários pagos no período.

Entre os setores industriais, destacaram-se os Elementos químicos, químicos diversos, borracha e plásticos (2,5%), Máquinas e equipamentos (2,2%) e Automóveis, caminhões, ônibus, peças e outros veículos (2,1%). Entre os agropecuários, os principais foram Outras culturas (0,7%), Cana-de-açúcar (0,6%), Café (0,3%) e Bovinos (1,4%).

Portanto, o panorama levantado mostrou que do ponto de vista da demanda, o PIB da economia brasileira foi fortemente dependente do Consumo das Famílias e dos Gastos do Governo em 2009. No que se refere à produção, a mesma se deu, predominantemente, no setor de Serviços. Ao mesmo tempo, verificou-se acentuada concentração das atividades industriais, de modo que entre os 22 setores industriais estudados apenas 5 foram responsáveis por mais 50% do VBP dessa atividade, a qual estava baseada principalmente em indústrias de média baixa e média alta tecnologia. No que se refere às atividades agropecuárias, os dados mostraram forte concentração em Soja, Cana-de-açúcar, Bovinos e Aves. Por sua vez, no período analisado, o Pessoal Ocupado (PO) e a MS se deram, predominantemente, no setor de Serviços.

4.2. O papel das Bacias Hidrográficas na economia nacional

Frente aos resultados apresentados, a pergunta que segue se refere à distribuição espacial das atividades econômicas. Isto é, quais Bacias Hidrográficas foram mais importantes do ponto de vista do PIB, do VBP, do emprego e dos salários no período analisado?

Visto que um dos objetivos da presente pesquisa é estimar as Pegadas Hídricas das Bacias do PNRH e, conseqüentemente, os fluxos de Água Virtual entre essas, conhecer a importância que as economias locais desempenham na economia nacional pode oferecer subsídios fundamentais para entender a influência dessas no uso de água no Brasil.

No que se refere à composição regional do PIB brasileiro, os dados do IBGE (2016b) mostraram que a Bacia Tietê foi a mais importante em 2009, sendo responsável por 26%, seguida da Bacia Litoral RJ (9%), Paranaíba (7%), Guaíba (5%) e Grande (4%), as quais responderam por mais de 50% do PIB nacional no período.

Quando se extrapola a análise para as demais Bacias, verifica-se considerável concentração do PIB nacional nas regiões Sudeste e Sul, ainda que duas Bacias da região Nordeste se destacaram entre as 11 mais importantes, são elas: Itapecuru-Paraguaçu e Litoral

AL PE PB. Cada uma dessas duas foi responsável por 3% do PIB nacional no período, conforme ilustrado a seguir.

Figura 3 - Distribuição regional do PIB nacional de 2009 – (%)

Fonte: IBGE, 2016a.

Tabela 5 - Participação do PIB regional no PIB nacional (preços de mercado) - 2009

1	Amapá Litoral	0%
2	Negro	1%
3	Trombetas	0%
4	Paru	0%
5	Foz Amazonas	0%
6	Solimões	0%
7	Purus	0%
8	Madeira	1%
9	Tapajós	1%
10	Xingu	0%
11	Tocantins Baixo	1%
12	Tocantins Alto	1%
13	Araguaia	0%
14	Gurupi	0%
15	Itapecuru	0%
16	Mearim	1%
17	Parnaíba Baixo	0%

(continua)

Tabela 5 - Participação do PIB regional no PIB nacional (preços de mercado) - 2009

	(conclusão)
18 Parnaíba Médio	1%
19 Parnaíba Alto	0%
20 Litoral CE PI	2%
21 Jaguaribe	0%
22 Piranhas	0%
23 Litoral CE PB	1%
24 Paraíba	1%
25 Litoral AL PE PB	3%
26 São Francisco Submédio	0%
27 São Francisco Baixo	0%
28 São Francisco Médio	1%
29 São Francisco Alto	5%
30 Litoral SE	1%
31 Itapecuru-paraguaçu	3%
32 Contas	0%
33 Jequitinhonha	0%
34 Litoral BA ES	0%
35 Paraguai 03	1%
36 Paraguai 02	0%
37 Paraguai 01	0%
38 Paranaíba	7%
39 Paraná RH1	3%
40 Grande	4%
41 Tietê	26%
42 Paranapanema	2%
43 Iguaçu	3%
44 Doce	1%
45 Litoral ES	2%
46 Paraíba do Sul	3%
47 Litoral RJ	10%
48 Litoral SP	1%
49 Litoral RJ SP	0%
50 Litoral SP PR SC	3%
51 Guaíba	5%
52 Litoral RS	1%
53 Uruguai Alto	1%
54 Uruguai Médio	1%
55 Ibicuí	0%
56 Negro RS	0%

Fonte: IBGE, 2016a.

Ao verificar a distribuição espacial dos componentes do PIB, de acordo com a ótica da demanda, confirmaram-se, para todos eles, concentração na região Sudeste e em menor grau na região Sul. Isto é, mais de 50% do Consumo das Famílias, dos Gastos do Governo, dos Investimentos, das Exportações e Importações estavam concentrados nessas regiões.

No que se refere às principais regiões do ponto de vista do VBP e da MS, o padrão verificado até então se manteve novamente. Ou seja, concentração nas Bacias localizadas principalmente nas regiões Sudeste e Sul.

No caso do PO, o mesmo se mostrou ligeiramente menos concentrado visto que 52% do PO no Brasil estava lotado em oito regiões, e não em cinco, como verificado para as outras variáveis. De qualquer modo, confirmou-se mais uma vez o padrão de concentração econômica nas regiões Sudeste e Sul. Assim, como mencionado anteriormente, mais uma vez as Bacias Itapecuru-Paraguaçu e Litoral AL PE PB, localizadas no Nordeste, também se destacaram, conforme explorado na próxima seção.

Portanto, no que se refere a distribuição espacial do PIB, VBP, PO e MS no Brasil, verificou-se forte concentração nas regiões Sudeste e Sul do país, com destaque para a Bacia Tietê. Assim, os dados estimados pela presente pesquisa corroboraram com os já previstos na literatura, indicando a boa qualidade dos dados estimados. (GUILHOTO; ICHIHARA, 2011).

4.3. Estrutura produtiva nas Bacias Hidrográficas brasileiras

No que tange ao presente objeto de estudo, isto é, as Bacias Hidrográficas, possivelmente uma das maiores contribuições desta pesquisa se dá ao apresentar as características das suas economias, as quais são úteis, entre outras finalidades, para o estudo sobre a relação entre estrutura produtiva local e o uso dos recursos hídricos.

Assim, diante do apresentado, a pergunta que se faz é: quais são as diferenças, do ponto de vista estrutural, entre as regiões estudadas e a média nacional?

A fim de responder à questão proposta, verificou-se que do ponto de vista dos componentes do PIB pela ótica da demanda, apenas 7 regiões apresentaram estrutura parecida com a verificada para o país como um todo. Isto é, sendo o Consumo das Famílias o principal elemento do PIB, seguido dos Gastos do Governo, Investimentos, Exportações e Importações internacionais.

As 49 Bacias restantes apresentaram estrutura diferente. Entre essas, a única onde os Gastos do Governo foi o principal componente do PIB foi a Bacia Paranaíba, possivelmente devido à sede do governo federal, Brasília, estar localizada nessa região. Em todas as outras, conforme verificado para a média nacional, o Consumo das Famílias foi o principal componente do PIB no período.

Ao contrário da economia do país como um todo, em 12 regiões os Investimentos foram maiores que os Gastos do Governo, são elas: (i) Tapajós; (ii) Tocantins Baixo; (iii) São

Francisco Alto; (iv) Itapecuru-Paraguaçu; (v) Paraguai 02; (vi) Tietê; (vii) Iguaçu; (viii) Litoral ES; (ix) Litoral SP; (x) Litoral SP PR SC; (xi) Guaíba; e (xii) Uruguai Alto. De qualquer modo, as parcelas dos Investimentos no PIB não excederam significativamente as participações dos Gastos do Governo, visto que as primeiras excederam, em média, 2,1 pontos percentuais (p.p.) as últimas, no período.

No entanto, entre as regiões que se mostraram com uma maior orientação aos Investimentos, destacaram-se as Bacias Litoral ES e Litoral SP PR SC, para as quais os Investimentos foram responsáveis, em média, por 21% dos seus PIBs locais. Tais resultados excederam, em média, 3,8% a participação dos Gastos do Governo regionais. Isso se deu visto a aquisição de bens de investimentos dos setores de Construção, Máquinas e equipamentos, além de Automóveis, caminhões, ônibus, peças e outros veículos.

De modo análogo, em 7 Bacias as exportações foram mais importantes para os PIBs locais do que o Investimento. São elas: (i) Amapá Litoral; (ii) Tapajós; (iii) Xingu; (iv) Tocantins Alto; (v) Parnaíba Alto; (vi) Paraguai 03; e (vii) Doce.

Além disso, verificaram-se que em 37 Bacias as Importações foram maiores que as Exportações. Entre essas, as Bacias Negro e Solimões foram as que mais se destacaram. Por sua vez, o segundo caso chamou bastante a atenção porque as suas importações foram responsáveis por 26% do PIB local em 2009, de modo que excedeu em 25 p.p. e em 14 p.p. a participação dos Exportações e dos Investimentos na região, respectivamente. Essas informações indicam que se tratam de Bacias com forte orientação às importações.

Entre as 19 Bacias que apresentaram balança comercial superavitária no período, é importante destacar aquelas onde as exportações se mostraram como componente determinante do PIB regional, isto é, onde a sua importância foi significativamente maior que a média nacional (10,9%). Entre tais Bacias se destacaram: (i) Tapajós (33%); (ii) Xingu (25%); (iii) Amapá Litoral (23%); (iv) Tocantins Baixo (22%); (v) Paraguai 03 (20,9%); (vi) Parnaíba Alto (20,6%); (vii) Doce (19,6%); (viii) Litoral ES (19,3%); e (ix) Araguaia (16%). A participação média das exportações nos PIBs locais dessas Bacias excedeu, em média, 11 p.p. a média nacional em 2009.

Portanto, essas são Bacias com uma orientação maior às exportações³³, sendo que no caso das Bacias Tapajós, Xingu, Parnaíba Alto e Araguaia a principal atividade exportadora em 2009 foi a Soja. Nas Bacias Amapá Litoral, Tocantins Baixo, Litoral ES e Doce foi o

³³ Essa evidência pode estar relacionada ao fato de que algumas dessas Bacias são pontos de partida para as exportações nacionais, onde existem portos e/ou aeroportos.

Extrativismo mineral (exceto combustíveis), enquanto na Bacia Paraguai 03 foi a Fabricação de óleos vegetais³⁴.

Esses resultados, por sua vez, oferecem um primeiro indicativo acerca da estrutura das economias regionais estudadas. De modo ilustrativo, pode-se distinguir as regiões com maior orientação ao Consumo das Famílias, Gastos do Governo, Investimentos, Exportações ou Importações.

Assim, visto que em todas as Bacias o Consumo das Famílias foi o principal responsável pelos PIBs locais, exceto a Bacia Paranaíba, conforme mencionado, a figura a seguir mostra a composição parcial desses PIBs. Isto é, são apresentadas as participações dos Investimentos, Gastos do Governo, Exportações e Importações nas economias regionais. Desse modo, é possível visualizar como as estruturas econômicas locais foram distintas daquela verificada para o país como um todo no período.

Figura 4 - Composição parcial dos PIBs regionais*

*Investimentos (I), Gastos do Governo (G), Exportações (E) e Importações (Imp.).

Fonte: dados da pesquisa.

³⁴ Fabricação de óleos vegetais: (i) Óleo de soja em bruto e tortas, bagaços e farelo de soja; (ii) outros óleos e gordura vegetal e animal, exclusive milho; e (iii) óleo de soja refinado.

No que se refere à composição dos VBPs locais, verificaram-se que 17 Bacias apresentaram composição distinta em comparação à média nacional, onde a ordem de importância dos grandes setores foi serviços, indústria, agricultura e pecuária.

Entre essas Bacias, em três as atividades industriais foram mais importantes em comparação com as dos serviços em 2009, são elas: (i) Negro; (ii) Solimões; e (iii) Paraíba do Sul. No caso da Bacia Negro, os principais setores industriais foram o Material elétrico e equipamentos eletrônicos, Automóveis, caminhões, ônibus, peças e outros veículos, além do setor de Bebidas. A indústria da Bacia Solimões se destacou principalmente devido ao setor de Refino de petróleo e coque, enquanto na Bacia Paraíba do Sul os setores de Automóveis, caminhões, ônibus, peças e outros veículos, Siderurgia, metalúrgicos não ferrosos e Refino de petróleo e coque foram os que mais se destacaram.

Seguindo o mesmo raciocínio, em 5 Bacias Hidrográficas as atividades agrícolas responderam por uma parcela maior do VBP local quando comparados às atividades industriais no período. São elas: (i) Tapajós; (ii) Xingu; (iii) Tocantins Alto; (iv) São Francisco Médio; e (v) Ibicuí.

No caso das três primeiras regiões, o cultivo da Soja foi o que mais se destacou. Na Bacia São Francisco Médio, o setor Outras culturas foi o principal responsável por esse resultado, enquanto na Bacia Ibicuí o cultivo de Arroz foi o mais importante, seguido das Outras culturas e Soja.

Além disso, entre as 56 regiões estudadas, em dez a pecuária foi mais importante para o VBP local quando comparado à agricultura. São elas: (i) Paru; (ii) Madeira; (iii) Tocantins Baixo; (iv) Piranhas; (v) São Francisco Baixo; (vi) Paraguai 02; (vii) Paraguai 01; (viii) Paraíba do Sul; (ix) Uruguai Alto; e (x) Negro RS. A criação de Bovinos foi a atividade pecuária mais importante em todas essas regiões com exceção, porém, da Bacia Uruguai Alto, onde se destacaram as criações de Aves e Suínos. Na figura a seguir é apresentado a composição setorial dos VBPs regionais observados em 2009.

Figura 5 - Composição setorial dos VBPs regionais em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

No que se refere ao Valor Adicionado (VA) regional, verificaram-se que 25 Bacias Hidrográficas apresentaram estrutura diferente da média nacional, onde, mais uma vez, o setor de serviços foi mais importante em relação à indústria, seguido da agricultura e pecuária. Entre as referidas regiões, em nenhuma delas as atividades industriais foram mais importantes do que os serviços em relação à participação no VA em 2009.

Em 18 regiões, a agricultura excedeu a indústria, sendo o cultivo de Outras culturas, Soja, Arroz e Fruticultura os principais responsáveis por esse resultado. Além disso, em 9 Bacias, a pecuária foi mais importante quando comparado à agricultura, principalmente devido à criação de Bovinos. A figura a seguir mostra as participações setoriais nos VAs regionais em 2009 para todas as Bacias estudadas.

Figura 6 - Composição setorial dos VAs regionais em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

No que se refere às características das Bacias quanto à MS e o PO, verificaram-se que 26 e 40 regiões, respectivamente, mostraram estrutura diferente daquela observada para a economia nacional como um todo, sendo que em nenhuma das Bacias estudadas o setor industrial superou o de serviços em termos de participação no total dessas variáveis.

No caso da MS, em oito regiões a agricultura apresentou maior importância em relação à indústria, e em 22 Bacias a pecuária foi mais importante quando comparada à agricultura. No que se refere ao PO, esses números foram de 38 e 9 Bacias, respectivamente. Desse modo, verificou-se que a ordem de importância dos setores muda de acordo com as variáveis consideradas. Isto é, na comparação entre indústria, agricultura e pecuária, constatou-se que no caso da MS houve maior concentração na pecuária, enquanto que no caso do PO houve maior concentração na agricultura. As figuras a seguir ilustram as composições setoriais das variáveis MS e PO regionais em 2009.

Figura 7 - Composição setorial da Massa Salarial regional em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 8 - Composição setorial do Pessoal Ocupado regional em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

O Brasil é um país de proporções continentais, de modo que essa característica muitas vezes justifica as diferenças regionais em inúmeros aspectos. As estruturas econômicas das Bacias Hidrográficas não fogem à regra. De acordo com as informações obtidas, verificaram-se que muitas economias regionais apresentaram estrutura econômica bastante heterogênea quando comparas à economia nacional.

Por sua vez, o conhecimento acerca dessas estruturas é fundamental para o estudo a respeito do uso dos recursos hídricos, pois as referidas diferenças, muito provavelmente, explicarão as diferenças regionais na dinâmica de utilização da água, tema, sobre o qual, as próximas seções são dedicadas.

4.4. Interdependência econômica entre as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH

Conhecida a estrutura econômica das Bacias Hidrográficas, é importante estudar em seguida sobre a interdependência econômica entre tais regiões, visto a sua importância para a análise sobre a interdependência hídrica entre as mesmas.

É nesse contexto que o modelo inter-regional de insumo-produto se faz crucial, pois ao considerar os chamados *spillover effects* inter-regionais, pode-se medir quão dependente uma economia é da outra. No presente caso, será possível identificar quais Bacias Hidrográficas foram mais dependentes uma das outras do ponto de vista produtivo em 2009. Para isso, serão analisados os Multiplicadores de Produção (MPs) intra e inter-regionais³⁵.

O MP, por sua vez, se refere ao Índice de Ligação para Trás ou *Backward Linkage* (BL)³⁶, para o qual existem inúmeras maneiras de normalização. (MILLER; BLAIR, 2009). No entanto, trabalhou-se aqui com a versão não normalizada a fim de tornar mais clara a desagregação desse índice entre os BLs intra e inter-regionais.

Inicialmente, com o intuito de identificar quais regiões foram mais dependentes uma das outras, analisaram-se os BLs agregados por região, via média aritmética simples. Os chamados BLs espaciais, de acordo com a metodologia disponível em Miller e Blair (2009).

³⁵ “An output multiplier for a sector j is defined as the total value of production in all sectors of the economy that is necessary in order to satisfy a dollar's worth of final demand for sector j 's output.” (MILLER; BLAIR, 2009, p.245).

Intraregional Effects: For exogenous changes in final demands for region r goods the intraregional effects represent impacts on the outputs of sectors in region r . (MILLER; BLAIR, 2009).

Interregional Effects: “The essence of an interregional [...] input-output model is that it includes impacts in one region that are caused by changes in another region; these are often termed the interregional spillover effects. [...]” (MILLER; BLAIR, 2009, p. 262).

³⁶ “To capture both direct and indirect linkages in an economy, column sums of the total requirements matrix, $L = [l_{ij}]$, were proposed as a total backward linkage measure (Rasmussen, 1957); these are output multipliers (Chapter 6). For sector j we have $BL(t)_j = \sum_{i=1}^n l_{ij}$ ” (MILLER; BLAIR, 2009, p. 557).

Entre as 30 regiões que apresentaram BLs espaciais maiores que a média nacional (1,7799), as que mais se destacaram foram: (i) Paraguai 03; (ii) Paraná RH1; (iii) Paranapanema; (iv) Tietê; (v) Iguaçu; e (vi) Tapajós. Isto é, as referidas Bacias demandaram mais insumos intermediários diante do aumento de uma unidade monetária nas suas demandas finais, quando comparadas às demais regiões, conforme ilustrado pela figura a seguir.

Figura 9 - BLs espaciais totais

Fonte: dados da pesquisa.

No entanto, no presente contexto, é importante apresentar a decomposição dos BLs em termos dos *spillover effects* de modo a identificar, principalmente, os transbordamentos inter-regionais. A fim de apresentar os dados de modo mais detalhado, a figura a seguir apresenta quais Bacias mostraram um grau de interdependência econômica maior e menor que a média entre as regiões (0,5636).

Figura 10 - BLs espaciais inter-regionais

Fonte: dados da pesquisa.

Entre as 30 Bacias que apresentaram BLs inter-regionais maiores que a média se destacaram as Bacias a saber: (i) Araguaia; (ii) Paranapanema; (iii) Paraná RH1; (iv) Litoral RJ SP; (v) Paraguri 03; e (vi) Paraguri 01.

Em geral, as referidas regiões apresentaram uma característica em comum. Suas principais atividades, do ponto de vista dos BLs setoriais, se referiram a pelo menos uma das seguintes: (i) Beneficiamento de outros produtos vegetais³⁷; (ii) Abate; (iii) Aves; (iv) Suínos; e (v) Fabricação de óleos vegetais.

Assim, diante desses resultados, é importante distinguir de quais regiões tais Bacias foram mais dependentes no período, pois, visto o objetivo a ser alcançado, é fundamental também identificar quais Bacias foram mais importantes do ponto de vista do provimento dos insumos. Isto é, quais economias regionais foram mais “requisitadas” em termos de oferta de bens e serviços em 2009.

³⁷ Beneficiamento de outros produtos vegetais: (i) Suco de laranja; (ii) outras conservas de frutas, legumes e outros vegetais; (iii) arroz beneficiado e produtos derivados; (iv) farinha de trigo e derivados; (v) farinha de mandioca e outros; (vi) milho beneficiado; e (vii) rações.

Analisando os Índices de Ligação para Frente ou *Forward Linkage* (FL)³⁸ agregados por regiões, os chamados FL espaciais, pode-se identificar quais Bacias foram mais importantes do ponto de vista do provimento de insumos. Assim, seguindo o padrão trabalhado até agora, calcularam-se os FLs não normalizados.

Conforme ilustrado pela figura a seguir, as principais Bacias fornecedoras de insumos para outras regiões em 2009 foram: (i) Solimões; (ii) Negro; (iii) São Francisco Baixo; (iv) Litoral SE; (v) Paraíba do Sul; e (vi) Araguaia.

Em geral, tais regiões foram importantes no provimento de Energia elétrica³⁹, Extrativismo mineral (exceto combustível), Petróleo e gás natural e Elementos químicos, químicos diversos, borracha e plásticos.

Figura 11 - FLs espaciais inter-regionais

Fonte: dados da pesquisa.

Nesse contexto, quando se analisaram os “BLs e FLs líquidos”, isto é, sem considerar o choque inicial, verificaram-se que na maioria dos casos os efeitos inter-regionais foram maiores que os efeitos intrarregionais, com exceção, porém, da Bacia Hidrográfica Tietê no caso do BL.

³⁸ “[...]. In addition, row sums of the Ghosh inverse, $G = [g_{ij}]$, were suggested as a better measure of total forward linkages. [...]” (Miller & Blair, 2009, p. 558). Desse modo, o FL total é: $FL(t)_i = \sum_{j=1}^n g_{ij}$.

³⁹ Produção de energia elétrica hidráulica, proveniente da cana-de-açúcar e de óleo combustível, carvão, óleo diesel, gás natural e outras fontes.

Desse modo, o resultado encontrado é bastante interessante para um dos principais objetivos da presente pesquisa, pois já que confirmada uma interdependência econômica regional significativa entre as Bacias Hidrográficas, abre-se um campo importante de estudos sobre a interdependência hídrica entre as mesmas.

No entanto os BLs e os FLs espaciais não levam em consideração os diferentes níveis de produção de cada região e/ou setor da economia, oferecendo apenas uma ideia sobre quais, entre esses, foram mais importantes do ponto de vista das interligações na cadeia de produção no período analisado.

Portanto, quando se considera o tamanho das regiões e/ou setores na economia, a relação de importância pode variar substancialmente. Isso ocorre porque, mesmo que esses apresentem uma cadeia de produção mais complexa, pode ser que não sejam significativos do ponto de vista do volume de produção.

De modo alternativo, então, empregou-se o Índice Puro de Ligações Interindustriais, proposto por Guilhoto, Sonis e Hewings (1997). Por meio dessa métrica é possível identificar quais as principais regiões e/ou setores do ponto de vista das interligações produtivas considerando os respectivos níveis de produção⁴⁰.

Analizando os Índices de Ligação Puro para Trás ou os *Pure Backward Linkages* (PBLs) pode-se identificar quais Bacias foram mais importantes do ponto de vista da demanda de insumos advindos de outras regiões. Isto é, os PBLs indicam o impacto puro do valor da produção total da região “j” sobre o restante da economia. Diz-se que o impacto é puro porque ele está livre da demanda de insumos que a região “j” produz para a própria região “j” e dos retornos do restante da economia para a região “j” e vice-versa. (GUILHOTO; SONIS; HEWINGS, 1997). Isto é, em termos gerais, quanto maior o PBL de uma dada região “j”, mais essa região demanda “insumos” de outras regiões.

Portanto, conforme ilustrado pela figura a seguir, pode-se verificar quais foram as principais Bacias do ponto de vista da demanda por insumos de outras regiões, isto é, aquelas cujo seus respectivos PBLs ficaram acima de um. São elas: (i) Tietê; (ii) Paranaíba; (iii) Litoral RJ; (iv) Guaíba; (v) Grande; (vi) São Francisco Alto; (vii) Paraíba do Sul; (viii) Paraná RH1; (ix) Iguaçu; (x) Itapecuru-paraguaçu; (xi) Paranapanema; (xii) Litoral SP PR SC; (xiii) Negro; (xiv) Litoral AL PE PB; e (xv) Uruguai Alto.

⁴⁰ Por motivos de ordem computacional, a matriz estimada, a qual originalmente está na dimensão “setor, região x setor, região”, foi agregada na dimensão “região x região” antes de se calcularem os Índices Puros de Ligações Interindustriais. Diante dessa limitação, é possível que se tenha incorrido em algum viés de agregação.

Desse modo, chama-se a atenção para a concentração regional dessas Bacias, as quais estão localizadas, total ou parcialmente, principalmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-oeste. As Bacias localizadas no Nordeste e Norte são exceção: (i) Itapecuru-paraguaçu; (ii) Litoral AL PE PB; e (iii) Negro.

Figura 12 - PBL

Fonte: dados da pesquisa.

Por sua vez, os Índices de Ligação Puro para Frente ou *Pure Forward Linkage* (PFLs) indicam o impacto puro do valor da produção total do restante da economia sobre uma dada região “j”. De modo análogo à interpretação do PBL, o impacto do PFL é chamado puro porque está livre da demanda de insumos que o restante da economia produz para si mesmo e dos retornos da região “j” para o restante da economia e vice-versa. (GUILHOTO; SONIS; HEWINGS, 1997). Isto é, em termos gerais, quanto maior o PFL da região “j” mais essa região fornece insumos para o restante da economia.

Assim, conforme mostrado na figura a seguir, verificaram-se que as principais Bacias do ponto de vista do provimento de insumos para outras regiões, isto é, aquelas cujos PFLs foram maiores que um, foram as mesmas que se destacaram no caso do PBL, mantendo

similar, inclusive, a ordem de importância. Uma exceção, porém, se refere à Bacia Litoral ES, a qual ficou acima da média apenas no que se refere ao PFL.

Figura 13 - PFL

Fonte: dados da pesquisa.

Desse modo, os presentes resultados sugerem uma forte concentração das atividades econômicas em 15 Bacias, entre as 56 estudadas, as quais estão localizadas, total ou parcialmente, principalmente nas regiões Sudeste, Sul e Centro-oeste, além das poucas localizadas nas regiões Nordeste e Norte.

Adicionalmente, pode-se verificar o padrão de interdependência econômica analisando o comércio em termos de VA (*Trade in Value Added* (TiVA)) entre as regiões estudadas, cujo o cálculo se dá de acordo com a metodologia exposta na seção 3.2. A importância da análise baseada no TiVA, em oposição à análise sobre o comércio baseada nos fluxos de VBP, tem sido destacada na literatura dado que assim, na presença de fragmentação global ou regional da produção, não se incorre em problemas de dupla contagem. (IMORI, 2015).

Os resultados obtidos mostraram que o VA no país em 2009 foi de R\$2,8 trilhões, dos quais R\$1,7 trilhões disseram respeito aos fluxos intrarregionais, representando, então, 61% do total de VA produzido no país. Os fluxos inter-regionais, por sua vez, totalizaram R\$1,1 trilhões, respondendo, portanto, por 39%.

Diante desses resultados, verificam-se que os fluxos intrarregionais de VA superaram os inter-regionais. De qualquer modo, os segundos foram responsáveis por quase 40% das transações entre as regiões, indicando um padrão de interdependência econômica significativo entre as Bacias.

No que se refere ao TiVA, entre os principais exportadores se destacaram as Bacias Tietê, onde 28% do seu VA foi gerado pelas exportações para as outras regiões, seguida das Bacias Litoral RJ (7%), Grande (5,1%), São Francisco Alto (4,6%), Guaíba (4,5%) e Paranaíba (4,4%). Assim, essas seis regiões foram responsáveis por 53,4% das exportações inter-regionais de VA em 2009.

De modo análogo, os principais importadores foram as Bacias Tietê (13%), Litoral RJ (9%), Paranaíba (7%), Grande (5,2%), São Francisco Alto (5%), Guaíba (4,6%), Paraíba do Sul (4,1%) e Itapecuru-paraguaçu (3,6%), sendo o conjunto dessas oito regiões responsáveis por 51,3% das importações inter-regionais de VA.

Quanto aos principais fluxos das regiões que se mostraram mais importantes do ponto de vista do TiVA, verificaram-se que as exportações da Bacia Tietê foram destinadas, principalmente às Bacias localizadas na região Sudeste e Sul, seguida da Bacia Itapecuru-paraguaçu, localizada na região Nordeste. As referidas exportações da Bacia Litoral RJ foram mais concentradas na região Sudeste. Por sua vez, as importações de VA das Bacias Tietê e Litoral RJ foram predominantemente originadas da região Sudeste e Sul, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

Figura 14 - Destinos das exportações que geraram Valor Adicionado na Bacia Tietê em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 15 - Destinos das exportações que geraram Valor Adicionado na Bacia Litoral RJ em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 16 - Origens das importações de Valor Adicionado da Bacia Tietê em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 17 - Origens das importações de Valor Adicionado da Bacia Litoral RJ em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Desse modo, os presentes resultados corroboraram com os encontrados no estudo sobre os PBLs e PFLs, pois as Bacias que se destacaram aqui fazem parte do grupo de Bacias que se destacou na análise dos referidos índices de ligação. Assim, as evidências indicaram, mais uma vez, concentração principalmente na região Sudeste, sendo que, no que se refere às principais Bacias exportadoras, destacaram-se também algumas Bacias da região Sul e parcialmente localizadas no Centro-oeste, enquanto que entre as principais importadoras, além dessas, a Bacia Itaipucu-paraguaçu, localizada no Nordeste, também se mostrou importante.

Adicionalmente, verificaram-se quais Bacias Hidrográficas foram exportadoras ou importadoras líquidas de acordo com o TiVA, no período analisado. Entre as 56 Bacias estudadas, apenas sete foram exportadoras líquidas, são elas: Bacia Tietê, responsável por 87% das exportações líquidas de VA desse grupo, seguida das Bacias Iguaçu (7%), Negro (4%), Paraguai 03 (1,1%), Litoral CE PI (0,8%), Litoral SP PR SC (0,6%) e Tapajós (0,2%).

De modo análogo, as demais 49 regiões foram importadoras líquidas de VA, entre as quais se destacaram as Bacias Paranaíba, responsável por 14% das importações líquidas desse grupo, seguida das Bacias Litoral RJ (13%), Tocantins Baixo (7%), Litoral AL PE PB (6%), Doce (4,2%), São Francisco Médio (4%) e Itaipucu-paraguaçu (4%). Por sua vez, esse grupo

de sete regiões foi responsável por 52% das importações líquidas de VA no país, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

Figura 18 - Balança comercial de Valor Adicionado em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 19 - Saldo da balança comercial de Valor Adicionado em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Assim, diante dos dados apresentados, verificaram-se que esses últimos resultados corroboraram mais uma vez com as evidências apontadas ao longo deste capítulo. Isto é, grande concentração das atividades na região Sudeste.

Desse modo, constataram-se, então, que do ponto de vista da interdependência econômica, os fluxos inter-regionais de VA foram, em sua maioria, intrarregionais. Mas, mesmo assim, observou-se significativa interdependência econômica entre as Bacias, visto que quase 40% do TiVA se deram entre regiões distintas.

No entanto, tamanha interdependência não parece ter se traduzido em grande integração nacional. De acordo com as informações obtidas, poucas Bacias Hidrográficas foram responsáveis por uma parcela expressiva desses fluxos, entre as quais as localizadas na região Sudeste apresentaram maior destaque, em especial as Bacias Tietê e Litoral RJ.

Assim, conhecida a estrutura econômica das Bacias e identificadas quais entre elas se mostraram mais importantes do ponto de vista da interdependência econômica regional, resta investigar se tais estruturas e fluxos comerciais se traduziram em importantes fluxos de Água Virtual. Desse modo, poderá se avaliar se as exportações e importações inter-regionais desse bem ameaçaram, ou não, a disponibilidade dos recursos hídricos internos a cada região no período analisado.

Por exemplo, nos casos das Bacias Tietê e Litoral RJ, as mesmas se mostraram significativamente importantes do ponto de vista da demanda e oferta de insumos de, e para, outras regiões. No entanto, essas Bacias já estavam em situação de estresse hídrico em 2005, de acordo com os critérios da *United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organization* (UNESCO)⁴¹. (MMA, 2006a e 2006b).

Assim, visto a importância que essas Bacias exerceram no comércio inter-regional em 2009 e, ao mesmo tempo, a situação desfavorável no que se refere à segurança hídrica na qual se encontravam já em 2005, é preciso investigar se os fluxos comerciais nos quais estavam inseridas se traduziram em importantes fluxos de Água Virtual. Pois, se esse for o caso, tais fluxos podem ter ameaçado e estar ameaçando o uso dos recursos hídricos locais e/ou de outras regiões.

Portanto, visto que esses recursos são muitas vezes importantes fatores de produção, tamanha concentração econômica pode estar produzindo efeitos adversos sobre a sua disponibilidade local. Isto é, a depender da intensidade com que a água é utilizada nas referidas economias, essa concentração pode estar exercendo uma pressão significativa sobre

⁴¹ “< 500 m³/hab.ano – Situação de escassez; 500 a 1.700 m³/hab.ano – Situação de estresse; > 1.700 m³/hab.ano – Situação confortável.” (MMA, 2006a, p.55).

o uso dos recursos hídricos e, conseqüentemente, sobre a disponibilidade hídrica local, tema sobre o qual será explorado nas próximas seções.

5. USO DE ÁGUA NAS BACIAS HIDROGRÁFICAS BRASILEIRAS

O presente capítulo é dedicado à apresentação dos resultados no que se refere ao uso da água por parte das economias regionais. Portanto, são analisadas as intensidades hídricas diretas e totais, bem como o volume de água captado e para qual finalidade esse recurso foi destinado, além das Pegadas Hídricas dos 50 setores e das 56 Bacias Hidrográficas do PNRH.

Com base nessas informações, verificou-se qual o padrão de interdependência hídrica entre as Bacias por meio da análise sobre os fluxos inter-regionais de Água Virtual, de modo que os resultados obtidos foram comparados com os verificados sobre a interdependência econômica. Em seguida, empregaram-se essas informações para calcular os Balanços Hídricos de cada Bacia em 2009.

5.1. Panorama geral das informações obtidas

No que se refere aos coeficientes técnicos diretos de uso de água, apresentam-se a seguir os coeficientes das 50 atividades econômicas estudadas, para o ano de 2009. Esses, por sua vez, se referem à média entre os coeficientes de um dado setor entre as 56 Bacias, ponderada pelos respectivos VBPs setoriais.

Tabela 6 - Coeficientes técnicos diretos médios de uso de água em 2009 (m³/MR\$2009)

Setores	Retirada	Consumo	Retorno
1 Arroz*	777.038	428.062	348.977
2 Milho*	57.752	46.543	11.210
3 Cana-de-açúcar*	646.616	521.108	125.508
4 Soja*	12.354	9.956	2.398
5 Frutas cítricas*	69.177	54.719	14.458
6 Fruticultura*	87.881	69.586	18.295
7 Café*	80.431	63.621	16.810
8 Outras culturas*	25.083	20.183	4.899
9 Silvicultura*	1.247	986	261
10 Extrativismo vegetal	0	0	0
11 Bovinos**	61.101	48.881	12.220
12 Outros pecuária**	97.967	78.374	19.593
13 Suínos**	24.955	19.964	4.991
14 Aves**	6.467	5.174	1.293
15 Extrativismo animal	0	0	0
16 Petróleo e gás natural	0	0	0
17 Extrativismo mineral***	20.295	5.227	15.068
18 Mineral não metálico***	679	323	356

(continua)

Tabela 6 - Coeficientes técnicos diretos médios de uso de água em 2009 (m³/MR\$2009)

Setores	Retirada	Consumo	Retorno (conclusão)
19 Abate	1.028	128	899
20 Fabricação de óleos vegetais	3.495	0	3.495
21 Indústria de laticínios	412	0	412
22 Beneficiamento de produtos vegetais	203	65	138
23 Indústria do café	308	62	246
24 Outros produtos alimentares***	2.825	568	2.257
25 Fabricação de açúcar	17.552	17.552	0
26 Bebidas***	1.418	310	1.108
27 Têxteis e outros***	11	2	9
28 Artefatos de couro e calçados	54	10	44
29 Produtos de madeira e outros***	6.196	1.051	5.145
30 Refino de petróleo e coque	898	181	716
31 Álcool	26.817	26.817	0
32 Elementos químicos e outros***	2.283	672	1.612
33 Siderurgia, metalúrgicos não ferrosos***	7.967	2.066	5.901
34 Máquinas e equipamentos***	66	13	53
35 Material elétrico e outros***	122	24	98
36 Automóveis e outros***	74	13	61
37 Indústria do mobiliário e diversos***	452	90	362
38 Energia elétrica (hidráulica)	0	0	0
39 Energia elétrica (outras fontes)	0	0	0
40 Energia elétrica (cana)	0	0	0
41 Transmissão e distribuição de energia elétrica, gás encanado	0	0	0
42 Água e esgoto****	796.241	466.967	373.574
43 Serviços de limpeza urbana	0	0	0
44 Construção	0	0	0
45 Comércio	0	0	0
46 Transporte	0	0	0
47 Outros serviços	0	0	0
48 Educação e saúde mercantil	0	0	0
49 Serviços domésticos	0	0	0
50 Serviços públicos	0	0	0

* Os coeficientes técnicos dos 9 setores agrícolas são diferentes para cada uma das regiões, refletindo as diferenças nas suas características geográficas. Os valores apresentados representam a média ponderada pela produção setorial entre as regiões.

** Os coeficientes técnicos dos 4 setores da pecuária são diferentes para cada uma das regiões, refletindo as diferenças na composição do seu rebanho. Os valores apresentados representam a média ponderada pela produção setorial entre as regiões.

*** Os coeficientes técnicos dos 12 setores industriais são diferentes para cada uma das regiões, refletindo as diferenças na composição do seu valor bruto da produção.

**** Os coeficientes técnicos são diferentes para cada região, a depender do volume de água captado no período. Os valores apresentados representam a média ponderada pela produção setorial entre as regiões.

Fonte: dados da pesquisa.

De acordo com os dados obtidos, verificaram-se que algumas das atividades agrícolas (1-10) foram tão intensivas em recursos hídricos quanto o setor de Água e esgoto (42) em 2009. Em seguida os setores da pecuária (11-15) se destacaram e, por fim, as atividades industriais (16-37). No que se refere aos setores de serviços, assumiram-se que os coeficientes técnicos diretos de uso da água são iguais a zero, conforme hipótese apresentada na seção metodológica.

No que se refere ao volume de água captado diretamente dos corpos hídricos, verificou-se que esse totalizou 60,6 bilhões de m³ em 2009 em todo país. Desse montante, 27,4 bilhões de m³ (45,3%) se deram no setor agrícola para fins de irrigação, 23,4 bilhões de m³ (38,5%) foram para o setor de Água e esgoto, 5,5 bilhões de m³ (9,0%) se destinaram à indústria e 4,3 bilhões de m³ (7,2%) foram para a pecuária. Os serviços, conforme hipótese adotada na seção metodológica, não apresentaram captação direta de água.

Antes de prosseguir com a análise sobre os dados produzidos, foi verificado se essas informações estão próximas daquelas com as quais a ANA trabalha. Para isso, compararam-se as mesmas com as informações produzidas pela referida instituição, conforme apresentado na tabela a seguir.

Tabela 7 - Comparação das bases de dados sobre a vazão de retirada de água no Brasil (metros cúbicos por segundo)

		ANA - 2006*		TESE - 2009**		ANA - 2010*	
Agricultura		861,3	47%	870,1	45%	1.270,1	54%
Pecuária		144,1	8%	137,7	7%	151,1	6%
Indústria		321,6	17%	173,8	9%	394,9	17%
Abastecimento humano***	Urbano	479,0	26%	740,7	39%	521,8	22%
	Rural	35,7	2%			34,4	1%
Total		1.842	100%	1.922	100%	2.372	100%

Fonte: *ANA (2013b), **dados da pesquisa, ***ou setor de Água e esgoto.

No que se refere ao uso da água para fins de irrigação, constatou-se que, de acordo com a presente pesquisa, o volume de água captado em 2009 foi de 870,1 metros cúbicos por segundo (m³/s). Por sua vez, segundo o relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2013 (ANA, 2013b), o qual apresenta uma comparação entre as demandas de recursos hídricos entre 2006 e 2010 no país, o volume de água captado para fins de irrigação nesses anos foi igual a 861,3 m³/s e 1.270,1 m³/s, respectivamente.

Portanto, diante dos dados expostos, pode-se afirmar que as informações levantadas estão próximas dos dados oficiais utilizados no gerenciamento dos recursos hídricos, indicando, assim, coerência nos resultados.

No entanto, apesar dos dados sobre o volume de água captado para fins de irrigação das diferentes fontes corroborarem entre si, os mesmos diferem quanto à distribuição espacial. A fim de comparar as informações levantadas com as constantes nas publicações oficiais, empregou-se um recorte regional menos desagregado, em comparação com o trabalhado na presente pesquisa. Esse, por sua vez, é definido de acordo com as 12 Regiões Hidrográficas nacionais, conforme ilustrado a seguir. Isso se deu porque os dados oficiais mais desagregados estão disponíveis nesse formato.

Figura 20 - Regiões Hidrográficas nacionais

Fonte: dados da pesquisa.

A partir da referida comparação, verificaram-se que os dados produzidos por esta pesquisa mostraram que a Região Hidrográfica (RH) mais importante quanto ao volume de água captado em 2009 foi a RH Atlântico Nordeste Oriental, seguida da RH Paraná, Atlântico Sul, Uruguai e São Francisco.

Porém, os dados utilizados pela ANA (2013b) mostraram que, para 2006, a principal região foi o Atlântico Sul, seguido do Atlântico Nordeste Oriental, São Francisco, Uruguai e

Paraná. De qualquer modo, apesar das duas bases de dados diferirem quanto à ordem de importância das RHs no que se refere à captação de água, o grupo com as cinco regiões mais importantes se manteve o mesmo.

Adicionalmente, é importante chamar a atenção para a diferença no que se refere a participação de cada região no volume total de água captado. Enquanto os dados produzidos por esta pesquisa mostraram que 31% da água captada em 2009 se deu na RH Atlântico Nordeste Oriental, as informações da ANA (2013b) mostraram que essa região foi responsável por apenas 17% em 2006. O mesmo tipo de diferença nos dados ocorre para os casos da RH Paraná e Atlântico Nordeste Ocidental.

Nos demais casos, as informações para 2009 mostraram que as participações das RHs no volume total de água captado foram menores em relação às estimativas da ANA (2013b) para 2006. Desse modo, pode-se verificar que os dados utilizados apontam para uma redistribuição da água captada em direção a algumas RHs localizadas no Nordeste e na RH Paraná, conforme ilustrado a seguir.

Figura 21 - Comparação entre as participações das RHs na vazão de retirada para fins de irrigação no país

Fonte: *ANA, 2013b. **Dados da pesquisa com base em FBB, MMA e FUNARBE, 2011.

Diante das diferenças observadas e visto que a ANA passou a empregar as informações da base de dados utilizada nesta pesquisa nos informes das Conjunturas dos Recursos Hídricos

no Brasil de 2015 e 2016 (ANA, 2015a e ANA, 2016c)⁴², verificaram-se as referidas participações de acordo com as publicações mais recentes. Desse modo, esperava-se encontrar uma estrutura parecida quanto às participações das RHs na captação de água para fins de irrigação entre os dados utilizados nesta pesquisa e os resultados apresentados recentemente pela ANA.

No entanto, essa expectativa não foi atendida. De acordo com esse levantamento, a principal RH responsável pela captação dos recursos hídricos para fins de irrigação em 2014 foi a RH Paraná, seguida do Atlântico Sul, São Francisco e Atlântico Nordeste Oriental. (ANA, 2015a e ANA, 2016c).

Porém, mais relevante que a ordem de importância entre as RHs, é a própria estimativa acerca da vazão de captação para irrigação de cada RH. Na comparação entre as informações divulgadas pela ANA (2013b) e as derivadas da base de dados da FBB, MMA e FUNARBE (2011) e utilizadas nesta pesquisa, a maior diferença se verificou na RH Atlântico Nordeste Oriental. Enquanto de acordo com os dados da ANA (2013b) essa vazão foi de 145 m³/s em 2006, os dados extraídos da FBB, MMA e FUNARBE (2011) mostraram uma vazão igual a 267 m³/s em 2009⁴³.

Inicialmente, suspeitaram-se que as diferentes metodologias empregadas na produção dos dados referentes a 2006 (ANA, 2013b) e 2009 (FBB, MMA e FUNARBE, 2011) explicassem as diferenças destacadas. Mas, a comparação entre as informações de duas pesquisas que utilizaram a mesma base de dados, continuou apresentando as mesmas diferenças.

Isto é, de acordo com a ANA (2016c), a vazão de captação para fins de irrigação da RH Atlântico Nordeste Oriental foi cerca de 160 m³/s em 2014. Portanto, essa medida manteve a mesma ordem de grandeza verificada no relatório de 2013 (ANA, 2013b), se mostrando significativamente diferente em relação à informação apresentada nesta pesquisa, a qual foi extraída da FBB, MMA e FUNARBE (2011).

Como a produção de resultados a ser realizada por este estudo é bastante sensível a esse tipo de informação, seguiu-se investigando acerca dessas diferenças. Ao longo dessa

⁴² “No ano de 2015, a ANA atualizou as estimativas de demandas hídricas consuntivas em escala nacional, aperfeiçoando os dados primários e os aspectos metodológicos para o cálculo das estimativas e para a espacialização das demandas estimadas. A metodologia e os resultados das estimativas de demanda e da espacialização, bem como os avanços obtidos, estão detalhados na Nota Técnica nº 56/2015/SPR e também foram abordados no Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos – Informe 2015.” (ANA, 2016c, p. 33).

⁴³ Conforme mencionado no capítulo metodológico, assumiu-se que a vazão de captação para irrigação de 2009 foi igual a de 2006.

verificação, constatou-se que há uma distinção importante entre a área irrigada por RH reportada pela FBB, MMA e FUNARBE (2011) e pela ANA.

De acordo com a ANA (2013b) a área irrigada na RH Atlântico Nordeste Oriental em 2006 e 2012 foi em torno de 500 mil ha, ao passo que segundo a base de dados da FBB, MMA e FUNARBE (2011) a área irrigada dessa região em 2009 foi igual a 787 mil ha⁴⁴.

Além disso, de acordo com a metodologia empregada pela ANA para a atualização das estimativas das demandas hídricas (ANA, 2015b), a agência utilizou os dados da FBB, MMA e FUNARBE (2011) no que se refere aos coeficientes técnicos de vazão de retirada, consumo e retorno de água, mas não empregou as suas informações sobre a área irrigada. O que explica, portanto, a não convergência dos resultados sobre a participação das RHs na captação de água para fins de irrigação entre os dados da FBB, MMA e FUNERBE (2011) e as publicações recentes da agência.

Dando continuidade à pesquisa sobre as diferenças na área irrigada estimada, consultou-se o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009a). De acordo com as informações obtidas, as principais UF's do ponto de vista da área irrigada foram o Rio Grande do Sul, responsável por 22% da área irrigada no país em 2006, São Paulo (17%) e Minas Gerais (12%), conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 22 - Participação das UF's na área irrigada do Brasil em 2006

Fonte: Censo agropecuário de 2006. (IBGE, 2009a).

⁴⁴ Conforme mencionado no capítulo metodológico, assumiu-se que a área irrigada de 2009 foi igual a de 2006.

Ao mesmo tempo, porém, segundo os dados da FBB, MMA e FUNARBE (2011), a principal Bacia Hidrográfica nesse aspecto foi a Litoral AL PE PB, responsável por 13% da área irrigada em 2009. Isto é, de acordo com esse estudo, a Zona da Mata e o Agreste dos estados de Pernambuco e Alagoas foi a principal região responsável pela captação de água para fins de irrigação no período. No entanto, de acordo com o Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009a), os estados de Pernambuco e Alagoas juntos foram responsáveis por apenas 8% da área irrigada nacional em 2006.

Diante dessas considerações, as informações apontam para uma divergência importante no que se refere à área irrigada da Bacia Litoral AL PE PB entre os dados divulgados pela ANA, pelo Censo Agropecuário de 2006 e os produzidos pela FBB, MMA e FUNARBE (2011). Conforme verificado, tais diferenças se dão frente às distintas metodologias e base de dados empregadas tanto no que se refere às vazões de retirada de água por cultura e região, bem como quanto às estimativas de área irrigada⁴⁵. Assim, chama-se a atenção para a necessidade de uma compatibilização entre essas informações.

Assim, visto que o presente estudo está empregando as informações produzidas pela FBB, MMA e FUNARBE (2011), é importante chamar a atenção para o fato de que os seus resultados refletirão as diferenças destacadas.

Com relação à estimativa acerca do volume de água captado pela pecuária, verificou-se que a mesma é semelhante às informações disponibilizadas pela ANA. No entanto, no que diz respeito à captação de água por parte da indústria e do setor de Água e esgoto, houve uma divergência em relação às informações divulgadas por essa instituição. Diante disso, chama-se a atenção para a necessidade de um refinamento das informações sobre a captação de água por parte desses dois últimos setores.

No que se refere aos dados sobre o uso de água por parte das atividades industriais, a base de dados utilizada (FBB, MMA e FUNARBE, 2011) não disponibiliza informações para a totalidade dos produtos industriais da economia. Os coeficientes técnicos de uso da água por parte das atividades industriais estimados pelo estudo mencionado estão disponíveis para um pouco mais de 80% das tipologias das seções B e C da Classificação Nacional das Atividades

⁴⁵ Sobre a metodologia empregada pela ANA (2013b): “Os cálculos das demandas foram baseados nas metodologias utilizadas pela ANA para elaboração do Documento Base de Referência do Plano Nacional de Recursos (Nota Técnica nº 006/SPR/2005-ANA), e na atualização das demandas hídricas referentes aos usos consuntivos do Banco de Dados do Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos do Brasil (Nota Técnica nº 018/2012/ SPR-ANA), para os anos bases de 2006 e de 2010, respectivamente.”. (ANA, 2013b, p.88). Sobre a metodologia empregada pela FBB, FUNARBE & MMA (2011): “A metodologia aqui apresentada está fortemente baseada nas etapas envolvidas na metodologia proposta no trabalho ONS (2005) para estimar os valores de vazões de retirada, retorno e consumo de água na irrigação [...]” (FBB, MMA e FUNARBE, 2011, p.162).

Econômicas (CNAE), de modo que tais atividades representaram cerca de 84% da receita líquida de vendas no Brasil no ano de 2007.

De qualquer modo, ainda que essa base de dados seja bastante ampla, o fato mencionado acima pode ajudar a entender as diferenças entre as informações divulgadas na Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2013 (ANA, 2013b) e as produzidas pela presente pesquisa com base nas informações da FBB, MMA e FUNARBE (2011). Diante disso, complementar as informações do último estudo no que se refere ao uso de água pela indústria pode configurar em uma contribuição importante a ser realizada por futuros trabalhos.

Associado a esse fato, é importante destacar que na conversão dos coeficientes técnicos de uso de água por parte das atividades industriais, calculados pela FBB, MMA e FUNARBE (2011), realizada por Ussami (2014), não foi possível realizar a referida transformação para a totalidade dos produtos abordados. Ainda que a conversão desses coeficientes, medidos em $\text{m}^3/\text{unidade}$ produzida e transformados para $\text{m}^3/\text{unidade monetária}$, tenha englobado a quase totalidade dos produtos, uma pequena parcela dessas informações não foram convertidas por questões técnicas destacadas pela autora. Assim, as diferenças observadas no que se refere à vazão de captação de água por parte da indústria também podem seguir, parcialmente, desse fato.

Feitas tais considerações, segue a análise das estimativas aqui produzidas em um nível desagregado. De acordo com essas informações, verificou-se que o maior volume de água captado no país em 2009 foi destinado ao setor de Água e esgoto. Essa atividade captou cerca de 23,4 bilhões de m^3 , respondendo por 39% do total de água captada no período. Em seguida, destacaram-se algumas culturas agrícolas, tais como a Cana-de-açúcar e o Arroz. A irrigação da Cana foi responsável pela captação de 14,6 bilhões de m^3 , correspondendo à 24% de toda a água captada, enquanto o cultivo de Arroz respondeu pela captação de 7,9 bilhões de m^3 , o que disse respeito à 13% do volume de água captado, conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 23 - Participação setorial no total de água captada diretamente no país em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

No que se refere à distribuição regional da captação total de água no país, verificou-se que a Bacia Hidrográfica Litoral AL PE PB foi a principal responsável, pois captou diretamente 7,7 bilhões de m³ de água em 2009, respondendo, portanto, por 13% do total da água captada. Em seguida, destacaram-se as Bacias Grande (11%), Tietê (8%), Paraíba do Sul (6%), Guaíba (4,6%), Paranaíba (4,5%) e Litoral RS (3,7%), conforme ilustrado pelas figuras a seguir. O conjunto dessas sete regiões foi responsável por 50% da água captada no Brasil.

Figura 24 - Volume de água captado diretamente nas Bacias Hidrográficas em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 25 - Participação das Bacias na captação total de água no país em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Visto o grande número de informações geradas e as suas especificidades, desde a maneira como foram tratadas até as suas configurações setoriais e regionais, apresentam-se a

seguir seções dedicadas à exploração mais detalhada dos resultados obtidos por grupo de atividades.

5.2. O uso direto de água na agricultura

No que se refere aos coeficientes técnicos diretos de captação de água por parte das atividades agrícolas, os resultados obtidos mostraram que, em média⁴⁶, as produções de Arroz e de Cana-de-açúcar foram as mais intensivas em recursos hídricos no país no período analisado. Os seus coeficientes foram cerca de 8 vezes maiores que o do verificado no cultivo da Fruticultura, o qual se mostrou como o terceiro setor agrícola mais intensivo em captação de água. Em seguida, se destacaram o Café, Frutas cítricas, Milho, Outras culturas, Soja e Silvicultura.

De modo desagregado, os resultados obtidos mostraram que as intensidades hídricas das atividades agrícolas irrigadas são tanto bastante diferentes entre si, quanto espacialmente. Isto é, mesmo quando considerada uma dada atividade agrícola, a mesma apresenta diferentes níveis de intensidade hídrica de acordo com a região onde a mesma está localizada, conforme ilustrado na sequência de figuras a seguir.

Em geral, essas diferenças estão associadas aos fatores climáticos, como o regime de precipitação e ao tipo de solo. Por exemplo, onde há uma maior recorrência de chuvas, em geral, há predominância da agricultura de sequeiro⁴⁷, enquanto em regiões mais secas, observa-se agricultura irrigada com maior recorrência. Adicionalmente, tais diferenças podem estar relacionadas ao emprego de diferentes tecnologias e, portanto, podem estar refletindo, também, diferenças na eficiência no uso dos recursos hídricos.

⁴⁶ Média ponderada pela produção regional de cada setor econômico considerado.

⁴⁷ Agricultura de sequeiro: tem por princípio o aproveitamento da água da chuva. É caracterizada pelo cultivo de culturas que não necessitam de irrigação constante.

Figura 26 - Intensidade hídrica do cultivo de Arroz irrigado nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 27 - Intensidade hídrica do cultivo de Milho irrigado nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 28 - Intensidade hídrica do cultivo de Cana irrigada nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 29 - Intensidade hídrica do cultivo de Soja irrigada nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 30 - Intensidade hídrica do cultivo de Frutas Cítricas irrigadas nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 31 - Intensidade hídrica do cultivo de Fruticultura irrigada nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 32 - Intensidade hídrica do cultivo de Café irrigado nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 33 - Intensidade hídrica do cultivo de Outras culturas irrigadas nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 34 - Intensidade hídrica do cultivo de Silvicultura irrigada nas Bacias Hidrográficas

Fonte: dados da pesquisa.

Como verificado, a produção de Cana-de-açúcar foi a segunda mais intensiva em captação de água para irrigação no ano de 2009. As informações encontradas mostraram que os coeficientes técnicos diretos de retirada de água por parte dessa atividade oscilaram entre $718 m^3/MR\$$ na Bacia Hidrográfica Trombetas e $4.425.454 m^3/MR\$$ na São Francisco Submédio, representando, portanto, uma variação muito significativa no uso dos recursos hídricos na irrigação desse setor.

Além disso, os resultados ainda mostraram que os cultivos de Cana mais intensivos em irrigação estavam localizados em Bacias da região Nordeste. Possivelmente, tais diferenças estão associadas às características climáticas locais⁴⁸.

No que se refere ao volume de água captado para fins de irrigação, verificou-se que a Cana-de-açúcar ocupou o primeiro lugar em 2009, respondendo por 53%. Apesar da maior parte do seu cultivo não ser irrigado, ainda assim essa atividade respondeu pelo maior volume de água captado entre os setores agrícolas no país. Em seguida, se destacaram os cultivos de Arroz (29%) e Fruticultura (5%), conforme mostrado na figura a seguir.

⁴⁸ De acordo com o IBGE (2009a), a produção de Cana-de-açúcar é concentrada nas regiões Sudeste e Nordeste do Brasil. Desse modo, em regiões mais secas, tais como no Nordeste, a irrigação é mais utilizada na produção desse produto, quando comparado às demais regiões com um clima menos seco, justificando, portanto, as grandes diferenças regionais observadas nos seus coeficientes técnicos diretos de captação de água.

Figura 35 - Participação dos setores agrícolas no total de água captada para fins de irrigação em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Além disso, os resultados mostraram que entre as 56 Bacias Hidrográficas estudadas, a chamada Litoral AL PE PB apresentou o maior uso direto desse recurso para irrigação, sendo responsável por 24% de toda a água captada para esse fim em 2009. O volume de água captado pelas atividades agrícolas nessa Bacia foi 2,8 vezes maior que o volume retirado pela segunda Bacia mais importante nesse aspecto, a Bacia Grande.

Isso se deu, principalmente, por conta da irrigação da Cana-de-açúcar na região, a qual foi responsável por 98% de toda a água utilizada pelas atividades agrícolas na Bacia Litoral AL PE PB em 2009. De acordo com o MMA (2006b), a expansão da irrigação nessa região está intimamente vinculada à adoção dessa prática na cultura da Cana-de-açúcar.

Além da Bacia Litoral AL PE PB, as que mais se destacaram quanto à captação de água para irrigação foram as Bacias Grande, responsável por 9%, Litoral RS (8%), Guaíba (6,2%) e Ibicuí (6,1%). Essas cinco regiões, por sua vez, foram responsáveis por 53% da captação de água para fins de irrigação no país, conforme ilustrado a seguir.

Figura 36 - Distribuição regional do volume de água captado para fins de irrigação em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Adicionalmente, é possível verificar em quais atividades agrícolas houve mais irrigação em cada região. De acordo com os dados produzidos, constatou-se que a irrigação da Cana-de-açúcar, por exemplo, foi mais concentrada em Bacias Hidrográficas localizadas nas regiões Nordeste e Sudeste. Por sua vez, a captação de água para o cultivo de Arroz, foi mais concentrada em Bacias localizadas na região Sul, conforme ilustrado a seguir.

Figura 37 - Participação dos setores agrícolas na captação de recursos hídricos para fins de irrigação em cada Bacia Hidrográfica - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

5.3. O uso direto de água na pecuária

Com relação aos coeficientes técnicos diretos de captação de água por parte das atividades pecuárias, os resultados encontrados mostraram que, em média⁴⁹, o setor Outros pecuária foi mais intensivo em recursos hídricos em 2009, seguido do setor de Bovinos, Suínos e Aves. Além disso, a nível regional, verificaram-se diferenças importantes, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

⁴⁹ Média ponderada pela produção regional de cada setor econômico considerado.

Figura 38 - Intensidade hídrica da criação de Bovinos nas Bacias Hidrográficas - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 39 - Intensidade hídrica da criação de Outros pecuária nas Bacias Hidrográficas - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 40 - Intensidade hídrica da criação de Suínos nas Bacias Hidrográficas - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 41 - Intensidade hídrica da criação de Aves nas Bacias Hidrográficas - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Os resultados obtidos mostraram que o volume de água captado para fins de criação animal foi de 4,3 bilhões de m^3 em 2009, portanto, bastante inferior ao montante utilizado na agricultura irrigada, representando apenas 16% do volume utilizado na agricultura.

No que se refere à distribuição espacial da captação de água destinada às atividades pecuárias, verificaram-se que as Bacias Paraná RH1 (9%), Araguaia (8,6%), Madeira (6,6%), Paranaíba (6,5%) e Tapajós (5%) foram as principais responsáveis, conforme ilustrado a seguir.

Figura 42 - Distribuição regional do volume de água captado pela pecuária em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Entre as atividades pecuárias estudadas, a criação de Bovinos se destacou quanto ao volume de água utilizado em 2009, sendo responsável por 86% do total de água captada destinada à criação animal no país, seguido dos Outros pecuários (6%), Suínos (4%) e Aves (3,8%).

No que se refere à distribuição espacial da captação de água para a criação animal em 2009, verificou-se que, de modo geral, houve concentração do uso de recursos hídricos por parte da criação de Bovinos na maioria das regiões estudadas. Porém, nas Bacias Foz Amazonas e Amapá Litoral, o uso desses recursos se deu principalmente no setor Outros pecuária, visto a importante criação de bubalinos na região.

Figura 43 - Participação dos setores pecuários no total de água captada para fins de criação animal em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 44 - Participação dos setores pecuários na captação de recursos hídricos para fins de irrigação em cada Bacia Hidrográfica - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

5.4. O uso direto de água na indústria

As informações obtidas a partir dos procedimentos descritos mostraram que, entre as atividades industriais, o setor Extrativismo mineral foi o mais intensivo em recursos hídricos, seguido do Álcool e a Fabricação de açúcar, sendo que, no caso dos dois últimos, a grande dependência de insumos agrícolas explica esses resultados. Além disso, a nível regional, verificaram-se algumas diferenças na intensidade hídrica direta dos setores para os quais estimaram-se os coeficientes regionais.

No que se refere ao volume de água captado diretamente pelas atividades industriais, o qual totalizou 5,5 bilhões de m³ em 2009, verificaram-se que o setor de Siderurgia e metalúrgicos não ferrosos foi responsável por 25% do total, seguido dos setores Extrativismo mineral (18%), Produtos de madeira e outros (12%), Álcool (11%), Fabricação de açúcar e Elementos químicos e outros (10,7% cada), conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 45 - Participação dos setores industriais no total de água captada em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Adicionalmente, em relação à distribuição espacial, verificaram-se que a indústria da Bacia Tietê foi responsável por 20% do total de água captada diretamente pela indústria nacional, seguida da Bacia Grande (9%), São Francisco Alto (7%), Doce (6%), Paraná RH1 (5,6%) e Litoral RJ (4,8%). Por sua vez, esse grupo de Bacias, concentrado na região Sudeste, foi responsável por 53% do total de água captada diretamente por parte da indústria nacional em 2009, conforme a figura a seguir.

Figura 46 - Distribuição regional do volume de água captado pela indústria em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Ainda que para alguns casos assumiram-se que os coeficientes de uso da água por parte das indústrias regionais são iguais aos da indústria nacional, e nos demais casos estimaram-se os coeficientes regionais com base na média ponderada pelos VBPs setoriais de cada Bacia, os indicadores utilizados nesta pesquisa representam um avanço em relação aos disponíveis na literatura.

De acordo com a FBB, MMA e FUNARBE (2011) “[...] a adoção de metodologias/procedimentos baseados em dados internacionais superestima os coeficientes de retirada, consumo e efluentes associados às indústrias brasileiras.”. (FBB; MMA e FUNARBE, 2011, pág. 84).

Além disso, verificaram-se que, frente aos desafios relacionados ao levantamento de informações sobre o uso da água por parte da indústria, as bases de dados internacionais disponíveis são, muitas vezes, bastante agregadas e baseadas em uma série de suposições que podem distorcer as informações para um nível de recorte regional mais detalhado.

O *World Input-Output Database* (WIOD), por exemplo, disponibiliza uma base de dados com contas satélites ambientais, entre as quais se destaca o consumo de água por parte das atividades industriais (m^3/a). Tais informações, por sua vez, se referem ao período entre 1996 e 2009 e estão disponíveis para 40 países, entre os quais se destaca o Brasil, e 36 atividades econômicas, onde 15 são industriais.

No entanto, verificando as referidas informações, certificaram-se que os dados sobre o consumo de água por parte da indústria nacional estão disponíveis de fato para apenas seis atividades. Essas, por sua vez, foram estimadas a partir, principalmente, dos cálculos sobre a Pegada Hídrica, conduzidos pelos pesquisadores do WFN (2016), conforme descrito a seguir.

Mekonnen and Hoekstra [...] report estimations of the average water use of industrial production (excluding hydropower) by country and water type for the period 1995-2006. We distributed that water to WIOD sectors according to the share of water use in the EXIOPOL database. Finally, we used these figures to calculate the average water intensity by country, industry and water type of the gross output at constant prices for the period 1995-2006. This intensity was extrapolated to the whole series, obtaining the water use of the industrial sector. [...]. (GENTY; ARTO; NEUWAHL, 2012, p. 52).

Por sua vez, o EXIOPOL é um projeto financiado pela Comissão Europeia onde: “*The core of the project is to support cost-effectiveness and cost-benefit analysis of technologies, policies, and standard setting, at the micro, macro and meso level. This requires the coverage of a broad range of impacts and assessment of external costs.*” (EXIOPOL, 2016).

Assim, para atingir o objetivo do EXIOPOL, uma das suas etapas foi construir uma tabela de insumo-produto multi-regional com contas satélites ambientais abordando 43 países, sendo que os seus resultados estão disponíveis na plataforma chamada EXIOBASE.

No que diz respeito aos dados sobre o uso da água pela indústria, o EXIOBASE dispõe dessas informações para seis atividades industriais. No entanto, essas, na verdade, são desagregações do resultado produzido pelo WaterGap Model, um modelo hidrológico global alemão combinado com cinco modelos de uso da água, os quais se referem à irrigação, pecuária, famílias, manufatura e resfriamento de usinas térmicas.

Por sua vez, os resultados desse último, entre os quais se destaca o uso da água por parte da indústria, têm sido usados nos relatórios do *UN World Water Development Report*, *The*

Millenium Ecosystem Assessment, UN Global Environmental Outlooks e do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (WaterGap Model, 2016).

Assim, diante de tais informações, o EXIOPOL desagregou os dados produzidos pelo WaterGap Model de acordo com as participações da produção física dos setores manufatureiros contemplados na sua pesquisa. (WOOD et al. 2015).

Desse modo, verificaram-se, portanto, que as informações disponíveis nos bancos de dados internacionais muitas vezes são significativamente baseadas em estimativas que podem não ser adequadas às pesquisas que trabalham com um recorte regional que privilegie características locais de uma dada economia.

Assim, mesmo adotando estratégias simples no que se refere à estimação dos coeficientes técnicos diretos de uso da água por parte das atividades industriais, trabalhar com as estimativas da FBB, MMA e FUNARBE (2011) representa um avanço, visto que são dados coletados diretamente junto aos segmentos industriais do Brasil.

5.5. O uso direto de água pelo setor de Água e esgoto e o setor de serviços

No que se refere aos coeficientes técnicos diretos de captação da água do setor de Água e esgoto, verificaram-se diferenças regionais consideráveis, de modo que esse indicador oscilou entre 237.701 m³/MR\$ na Bacia Iguaçu e 105.195.008 m³/MR\$ na Bacia Negro RS.

Entre as regiões onde esse resultado foi mais alto, além da já mencionada, destacaram-se as Bacias Paraguai 02, Xingu, Tocantins Baixo, Paraguai 01 e Gurupi. Isso ocorreu frente aos baixos VBPs dos respectivos setores de Água e esgoto.

O volume de água captado para fins de abastecimento público em 2009 no Brasil foi cerca de 23,4 bilhões de m³, de modo que entre as regiões estudadas, as principais responsáveis por esse resultado foram as Bacias Grande, Tietê, Paraíba do Sul e Litoral RJ, localizadas na região Sudeste, seguidas da Tocantins Baixo, na região Norte e das Bacias Itapecuru-Paraguaçu e Litoral AL PE PB, localizadas na região Nordeste. Em conjunto, tais regiões responderam por 62% do volume total de água captado no país destinado ao abastecimento público no período.

Portanto, conforme ilustrado nas figuras a seguir e verificado para os demais setores da economia, nem sempre Bacias onde as atividades de Água e esgoto foram mais intensivas em recursos hídricos foram as principais responsáveis pela captação desses recursos na atividade mencionada.

Figura 47 - Intensidade hídrica do setor de Água e esgoto nas Bacias Hidrográficas - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 48 - Distribuição regional do volume de água captado pelo setor de Água e esgoto em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

5.6. Intensidade hídrica total

Os resultados encontrados mostraram que, quando o volume de água indiretamente embutido na produção dos bens e serviços é considerado, há uma mudança importante nos indicadores de intensidade hídrica ($\text{m}^3/\text{MR}\$$). No que se refere à intensidade hídrica total, isto é, intensidade direta mais indireta, o setor agrícola permaneceu como a atividade mais intensiva em recursos hídricos, enquanto a indústria passou a superar o setor de Água e esgoto. Em seguida, destacaram-se o setor de pecuária e serviços.

Ao considerar o volume de água embutido nos insumos utilizados pela indústria, essa passou a ser 11 vezes mais intensiva em água, quando comparada a sua intensidade hídrica direta. Isso se deu, principalmente, por conta da dependência que as atividades relacionadas ao agronegócio têm em relação aos insumos advindos da agropecuária, os quais, conforme já mencionado nas seções anteriores, são altamente intensivos em recursos hídricos. Entre as atividades industriais que se revelaram intensivas em água, destacaram-se: (i) Fabricação de açúcar; (ii) Álcool; e (iii) Beneficiamento de outros produtos vegetais, conforme ilustrado na tabela a seguir.

Tabela 8 - Coeficientes técnicos diretos e geradores médios de retirada de água em 2009 ($\text{m}^3/\text{MR}\$2009$)

Setores	Coeficiente técnico direto médio de retirada de água	Gerador médio de retirada de água
1 Arroz*	777.038	863.623
2 Milho*	57.752	78.936
3 Cana-de-açúcar*	646.616	658.126
4 Soja*	12.354	18.340
5 Frutas cítricas*	69.177	77.533
6 Fruticultura*	87.881	95.216
7 Café*	80.431	84.606
8 Outras culturas*	25.083	35.064
9 Silvicultura*	1.247	7.261
10 Extrativismo vegetal	0	6.559
11 Bovinos**	61.101	80.880
12 Outros pecuária**	97.967	139.953
13 Suínos**	24.955	72.846
14 Aves**	6.467	50.857
15 Extrativismo animal	0	12.707
16 Petróleo e gás natural	0	8.559
17 Extrativismo mineral***	20.295	30.391
18 Mineral não metálico***	679	13.199
19 Abate	1.028	45.295

(continua)

Tabela 8 - Coeficientes técnicos diretos e geradores médios de retirada de água em 2009 (m³/MR\$2009)

Setores	Coeficiente técnico direto médio de retirada de água	Gerador médio de retirada de água (conclusão)
20 Fabricação de óleos vegetais	3.495	26.343
21 Indústria de laticínios	412	40.638
22 Beneficiamento de produtos vegetais	203	118.319
23 Indústria do café	308	45.422
24 Outros produtos alimentares***	2.825	33.139
25 Fabricação de açúcar	17.552	310.912
26 Bebidas***	1.418	34.198
27 Têxteis e outros***	11	10.071
28 Artefatos de couro e calçados	54	9.643
29 Produtos de madeira e outros***	6.196	13.590
30 Refino de petróleo e coque	898	14.662
31 Álcool	26.817	210.286
32 Elementos químicos e outros***	2.283	14.418
33 Siderurgia, metalúrgicos não ferrosos***	7.967	21.063
34 Máquinas e equipamentos***	66	10.947
35 Material elétrico e outros***	122	7.330
36 Automóveis e outros***	74	10.107
37 Indústria do mobiliário e diversos***	452	8.159
38 Energia elétrica (hidráulica)	0	850
39 Energia elétrica (outras fontes)	0	3.331
40 Energia elétrica (cana)	0	89.338
41 Transmissão e distribuição de energia elétrica, gás encanado	0	2.955
42 Água e esgoto****	796.241	797.336
43 Serviços de limpeza urbana	0	6.912
44 Construção	0	5.542
45 Comércio	0	6.107
46 Transporte	0	5.349
47 Outros serviços	0	5.401
48 Educação e saúde mercantil	0	6.629
49 Serviços domésticos	0	0
50 Serviços públicos	0	8.797

* Os coeficientes técnicos dos 9 setores agrícolas são diferentes para cada uma das regiões, refletindo as diferenças nas suas características geográficas. Os valores apresentados representam a média ponderada pela produção setorial entre as regiões.

** Os coeficientes técnicos dos 4 setores da pecuária são diferentes para cada uma das regiões, refletindo as diferenças na composição do seu rebanho. Os valores apresentados representam a média ponderada pela produção setorial entre as regiões.

*** Os coeficientes técnicos dos 12 setores industriais são diferentes para cada uma das regiões, refletindo as diferenças na composição do seu valor bruto da produção.

**** Os coeficientes técnicos são diferentes para cada região, a depender do volume de água captado no período. Os valores apresentados representam a média ponderada pela produção setorial entre as regiões.

Fonte: dados da pesquisa.

Seguindo o mesmo raciocínio, a pecuária viu sua intensidade hídrica crescer 1,87 vezes, enquanto a agricultura e o setor de Água e esgoto não mostraram grande alteração entre as suas intensidades hídricas totais e diretas. Desse modo, chama-se a atenção para a relevância de se considerar o volume de água embutido nos insumos, quando se pretende mensurar a intensidade hídrica total, conforme ilustrado na figura a seguir.

Figura 49 - Intensidade hídrica direta e total dos grandes setores em 2009 (m³/MR\$2009)

Fonte: dados da pesquisa.

Adicionalmente, é importante destacar os casos para os quais não houve uso direto de água. Ao considerar o volume de recursos hídricos embutidos nos insumos dessas atividades, verificaram-se que as suas intensidades hídricas totais passaram a ser diferentes de zero. Entre essas, se destaca, por exemplo, a Produção de Energia Elétrica proveniente da Cana-de-açúcar, a qual apresentou intensidade hídrica total elevada em relação ao grupo de atividades que recebeu o mesmo tratamento. Novamente esse resultado se justifica pela alta intensidade hídrica do seu principal insumo, a Cana-de-açúcar.

5.7. Pegada Hídrica e a interdependência hídrica entre as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH

Conforme já mencionado, a Pegada Hídrica de um produto se refere ao volume de água utilizado para produzi-lo, medido ao longo de toda a cadeia produtiva. Por isso, é um

indicador mais adequado e amplo sobre a forma como um consumidor ou produtor utiliza os sistemas de água doce, em comparação às medidas sobre o uso direto de água.

Por sua vez, as Pegadas Hídricas de uma etapa do processo produtivo, de um consumidor, de uma área delimitada geograficamente ou de um setor da economia, entre outras, são definidas de maneira análoga.

Em geral, as Pegadas Hídricas são quantificadas com o objetivo de analisar como as atividades humanas se relacionam com as questões de escassez e poluição da água, e de verificar como tais atividades podem se tornar mais sustentáveis do ponto de vista da segurança hídrica. Assim, para que essa avaliação seja possível, além de quantificar a Pegada Hídrica, é importante estudar acerca da sua sustentabilidade ambiental, bem como formular estratégias de resposta com base nos resultados encontrados. (HOEKSTRA et al. 2011).

A maneira como as avaliações das Pegadas Hídricas são realizadas depende do foco de interesse. No caso da presente pesquisa privilegiaram-se os cálculos das Pegadas Hídricas Azuis das atividades econômicas e das Bacias Hidrográficas que se dão dentro do Brasil.

Sobre essas estimativas, dois pontos merecem esclarecimento. O primeiro se refere ao emprego do termo Pegada Hídrica Azul. Conforme a definição original, esse conceito se refere ao volume de Água Azul consumido nos processos produtivos de um dado bem. No entanto, na presente pesquisa, os dados utilizados para a sua estimação dizem respeito ao volume de Água Azul captado.

Conforme explicado no capítulo 2, adotou-se tal estratégia a fim de empregar os mesmos critérios utilizados pelas instituições responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos no Brasil. Assim, procurou-se produzir informações úteis às políticas públicas nesse campo.

A segunda observação se refere ao conceito de Pegada Hídrica dentro de uma região. Existem inúmeras variações de medidas sobre a Pegada Hídrica, de modo que a sua contabilização dependerá do objetivo almejado. De acordo com Hoekstra et al. (2011), os gestores das Bacias Hidrográficas estão interessados principalmente na Pegada Hídrica dentro da sua Bacia. Isto é, estão interessados no uso da água proveniente das suas Bacias e não tanto nos recursos hídricos provenientes de outras regiões.

Diante disso e visto que o principal objetivo da presente pesquisa é estimar o volume de água utilizado pelos setores e pelas Bacias Hidrográficas e identificar quais os principais responsáveis pelo uso dos recursos hídricos nacionais, priorizaram-se as estimações das Pegadas Hídricas Azuis que se dão dentro do Brasil. Portanto, as importações internacionais

de Água Virtual não foram consideradas. Por sua vez, essas estimações seguiram a metodologia disponível em Feng et al. (2011), conforme descrito a seguir.

$$WF_{total} = WF_{int} + WF_{ext} \quad (26)$$

$$WF_{int} = WF_{db} - Exp_{av} \quad (27)$$

$$WF_{db} = WF_{int} + Exp_{av} \quad (28)$$

Onde:

WF_{total} : Pegada Hídrica Azul Total de um setor ou Bacia Hidrográfica nacional. Se refere ao volume de Água Virtual embutido no consumo de um setor ou Bacia Hidrográfica nacional;

WF_{int} : Pegada Hídrica Azul Interna de um setor ou Bacia Hidrográfica nacional. É igual ao volume de Água Virtual contido nos bens e serviços produzidos e consumidos por esse setor ou Bacia Hidrográfica;

WF_{ext} : Pegada Hídrica Azul Externa de um setor ou Bacia Hidrográfica nacional. Se refere ao volume de Água Virtual contido nos bens e serviços importados de outras Bacias nacionais por esse setor ou Bacia Hidrográfica;

WF_{db} : Pegada Hídrica Azul Dentro da Bacia Hidrográfica nacional. Se refere ao volume de Água Virtual embutido na produção doméstica de um setor ou Bacia. Desse modo, não necessariamente todo o volume de água incorporado na produção desse setor ou Bacia é consumido pelos mesmos;

Exp_{av} : Exportação inter-regional de Água Virtual de um setor ou Bacia Hidrográfica nacional. Diz respeito ao volume de Água Virtual contido nas exportações inter-regionais de bens e serviços de um dado setor ou Bacia Hidrográfica nacional.

Conforme descrito na definição das variáveis das três últimas equações, contabilizar os fluxos de Água Virtual é fundamental para se calcular as Pegadas Hídricas. Por isso, nesta seção, os fluxos de Água Virtual entre as Bacias Hidrográficas, as Pegadas Hídricas setoriais

e regionais, bem com o padrão de interdependência hídrica entre as Bacias serão estudados conjuntamente.

Quando se trabalha com um sistema inter-regional de insumo-produto, a matriz referente à demanda final retrata a produção necessária no setor “i” da região “L” para o atendimento da demanda final do setor “j” da região “M”, o qual seria análogo, portanto, à exportação do setor “i” da região “L” em direção ao setor “j” da região “M”. Em uma abordagem “região x região”, as referidas considerações corresponderiam à exportação da região “L” para a região “M” ou, ainda, à importação da região “M” de bens e serviços da região “L”⁵⁰.

Assim, quando se estima o volume de água necessário ao atendimento das demandas finais regionais, conforme metodologia apresentada no capítulo 3, tem-se também as exportações e importações inter-regionais de Água Virtual, as quais de modo análogo ao TiVA, são chamadas aqui de *Trade in Virtual Water* (TiVW). Portanto, os referidos fluxos de Água Virtual podem ser analisados do ponto de vista da oferta e da demanda.

De acordo com os resultados obtidos, entre os 60,6 bilhões de m³ de água captada em 2009 no país, 39% disseram respeito aos fluxos intrarregionais de Água Virtual (23,4 bilhões de m³) e 61% se referiram aos fluxos inter-regionais (37,2 bilhões de m³).

No que se refere à demanda de Água Virtual e, portanto, sobre a Pegada Hídrica Total das 56 Bacias Hidrográficas, verificou-se que a Bacia Tietê foi a região que mais se destacou, sendo responsável por 14% (8,7 bilhões de m³) da Pegada Hídrica Total do país em 2009.

Sobre as contribuições das Pegadas Hídricas Totais setoriais nessa Bacia, os resultados mostraram que as principais atividades foram a Água e esgoto, Cana-de-açúcar e o Arroz, pois responderam por 39%, 18% e 15%, respectivamente⁵¹.

Em seguida, destacaram-se as Bacias Litoral AL PE PB, a qual respondeu por 9% da Pegada Hídrica Total nacional (5,3 bilhões de m³), onde o cultivo de Cana-de-açúcar foi o principal responsável. Além disso, chama-se a atenção para as Bacias Grande (7,2%), Litoral RJ (7%), Paranaíba (6%), Guaíba (5%) e Paraíba do Sul (4%), de modo que em todos esses

⁵⁰ Quando tais regiões são definidas em termos de países, as referidas exportações e importações são ditas internacionais e quando elas se referem a regiões dentro de um mesmo país, as exportações e importações são chamadas inter-regionais. No caso da presente pesquisa, como se está trabalhando com as Bacias Hidrográficas localizadas dentro do Brasil, sempre que se mencionar apenas exportações ou importações, quer se dizer exportações e importações inter-regionais.

⁵¹. Durante a crise hídrica pela qual a cidade de São Paulo e a sua região metropolitana passou entre 2014 e 2015, muito se discutiu a respeito dos possíveis usos concorrenciais de água entre o abastecimento público e as demais atividades econômicas. Nesse contexto, as informações sobre as Pegadas Hídricas Totais setoriais de cada Bacia e, em especial, sobre as suas Pegadas Hídricas setoriais Internas podem ser bastante úteis para a investigação sobre esse tema.

casos as principais atividades que contribuíram para esses resultados foram a Água e esgoto, a Cana-de-açúcar e o Arroz. Assim, esse grupo foi responsável pela demanda de 52% do total de água captada no país em 2009.

A mesma análise pode ser feita com base no volume de Água Virtual utilizado na produção interna, ou seja, de acordo com a Pegada Hídrica Dentro da Bacia ou oferta de Água Virtual. No que se refere a essa medida, a Bacia Litoral AL PE PB foi a que mais se destacou, sendo responsável por 13% da Água Virtual produzida em todo país. Em seguida, destacaram-se as Bacias Grande (11%), Tietê (8%), Paraíba do Sul (6%), Guaíba (4,6%), Paranaíba (4,5%) e Litoral RS (4%). Desse modo, esse grupo foi responsável por 50% do volume de Água Virtual produzido em 2009.

Com o objetivo de extrair uma medida sobre o grau de interação entre as Bacias, procurou-se identificar quais regiões foram mais dependentes uma das outras do ponto de vista das importações e exportações de Água Virtual no período.

No que se refere à dependência em relação às importações, calcularam-se as participações dessas na demanda total local de Água Virtual, ou seja, a participação da Pegada Hídrica Externa em relação à Pegada Hídrica Total. Desse modo, esse indicador configura-se em uma espécie de Índice de Dependência Hídrica (IDH) (*Water Dependency Index*), conforme mencionado no capítulo dois⁵².

Para o estudo sobre a dependência em relação às exportações, não foram encontradas medidas com esse objetivo na literatura consultada. Diante disso, a presente pesquisa propõe a mensuração das participações das exportações inter-regionais de Água Virtual em relação à Pegada Hídrica Dentro da Bacia, para o qual se deu o nome de Índice de Dependência da Exportação Hídrica (IDEH).

Pela ótica da demanda de Água Virtual, os resultados obtidos mostraram que entre as 56 Bacias Hidrográficas estudadas, em 48 as Pegadas Hídricas Totais foram prioritariamente externas e, portanto, advindas das importações inter-regionais de Água Virtual.

Por exemplo, para o atendimento da demanda final por bens e serviços da Bacia Tietê, a principal região demandante de recursos hídricos no país, foi necessário a captação de 8,7 bilhões de m³ de água (Pegada Hídrica Total), dos quais 6,2 bilhões de m³ se referiram ao volume de água captado nas demais regiões (Pegada Hídrica Externa), enquanto que 2,5

⁵² Diz-se uma espécie de WDI porque no presente caso optou-se por calcular a razão entre a importação inter-regional bruta de Água Virtual e a apropriação total de Água Virtual de uma dada região, em vez de considerar a importação inter-regional líquida de Água Virtual, conforme sugerido pela definição original.

bilhões de m³ disseram respeito ao volume de água captado na própria região (Pegada Hídrica Interna).

As oito regiões onde os fluxos de Água Virtual aqui descritos foram prioritariamente intrarregionais, ou seja, onde as Pegadas Hídricas totais foram principalmente internas, foram: (i) Tocantins Baixo; (ii) Tocantins Alto; (iii) Doce; (iv) Litoral CE PB; (v) Xingu; (vi) Paraíba do Sul; (vii) Grande; (viii) Litoral AL PE PB, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

Figura 50 - Participação da Pegada Hídrica Externa em relação à Pegada Hídrica Total - 2009

Fonte: dados da pesquisa⁵³.

⁵³ A informação sobre a Bacia Litoral BA ES foi suprimida nas figuras 50, 52, 54 e 55 porque nesses casos houve um desvio no seu indicador, o qual distorce a visualização dos resultados referentes às outras regiões. Por sua vez, esse desvio se deu frente aos ajustes realizados a fim de corrigir os fluxos inter-regionais do setor de Cana-de-açúcar e os setores de Cana-de-açúcar, Fabricação de açúcar e Álcool entre as Bacias não vizinhas, mencionados na seção 3.1.

Figura 52 - Índice de Dependência da Exportação Hídrica - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 53 - Pegada Hídrica Dentro das 56 Bacias Hidrográficas - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Com base nas informações apresentadas, pode-se se verificar que ao contrário da tendência observada para a maioria das regiões, as Bacias Tocantins Baixo e Litoral AL PE

PB foram as únicas regiões onde os fluxos de Água Virtual foram principalmente intrarregionais em ambos os sentidos.

Na Bacia Tocantins Baixo, 48% da sua Pegada Hídrica Total foi proveniente das importações inter-regionais de Água Virtual, ao passo que essa proporção na Bacia Litoral AL PE PB foi de 44%.

No que se refere à participação das exportações de Água Virtual na Pegada Hídrica Dentro da Bacia, na Bacia Tocantins Baixo essa relação foi de 29%, enquanto na Litoral AL PE PB foi de 47%.

No que se refere à distribuição espacial, verificou-se que a maioria das Bacias mais dependentes das importações inter-regionais de Água Virtual estão concentradas principalmente na região Norte. As Bacias menos dependentes estão distribuídas por todo o país. No que diz respeito às regiões mais dependentes das exportações de Água Virtual, as mesmas se encontram nas regiões Sul, Sudeste, Centro-oeste e Nordeste, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

Figura 54 - Índice de Dependência Hídrica em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 55 - Índice de Dependência das Exportações Hídricas em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Portanto, de acordo com os resultados apresentados até então, verificaram-se que tanto pela ótica da demanda de Água Virtual quanto da oferta desse bem, os seus fluxos entre as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH se mostraram prioritariamente inter-regionais em 2009.

Assim, visto a grande interdependência hídrica entre as Bacias, resta investigar com mais detalhe a respeito das principais regiões responsáveis pelos fluxos inter-regionais de Água Virtual. No que se refere às principais regiões do ponto de vista das importações desse recurso, portanto, da Pegada Hídrica Externa, se destacaram as Bacias Tietê, pois foi responsável pela importação de 17% de toda Água Virtual importada entre as regiões do país, Litoral RJ (8%), Paranaíba (7%), Guaíba (5,1%), São Francisco Alto (5%), Itaipucu-paraguaçu (4,7%) e Grande (4%). Sendo esse conjunto de sete regiões responsável por 50% do total da Água Virtual importada no Brasil no período.

As principais Bacias exportadoras de Água Virtual foram as Bacias Grande, responsável por 10,2% das exportações inter-regionais de Água Virtual do país, Litoral AL PE PB (9,7%), Tietê (6,5%), Litoral RS (5,7%), Paraíba do Sul (5,4%), Guaíba (5%), Ibicuí (4,6%) e Paranaíba (4%), de modo que esse grupo de oito regiões foi responsável por 51% do total da Água Virtual exportada no país.

Portanto, conforme ilustrado nas figuras a seguir, pode-se verificar que entre as principais Bacias demandantes de água advinda de outras regiões, a maioria se concentra no Sudeste, enquanto que entre as principais ofertantes há uma dispersão regional maior, com predominância das Bacias localizadas nas regiões Sudeste e Sul. Além disso, a Bacia Litoral AL PE PB, localizada no Nordeste, também se destacou em relação às exportações inter-regionais de Água Virtual em 2009.

Figura 56 - Importações inter-regionais de Água Virtual* em 2009

*Ou Pegada Hídrica Externa.

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 58 - Origens das importações de Água Virtual da Bacia Tietê em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 59 - Origens das importações de Água Virtual da Bacia Litoral RJ em 2009

Fonte: dados da pesquisa.

responsáveis por esses fluxos. As principais importações das Bacias Tietê e Litoral RJ são provenientes das regiões Sudeste e Sul, além da Bacia Litoral AL PE PB localizada no Nordeste.

No que se refere aos destinos das principais exportações da Bacia Grande, verificou-se concentração na região Sudeste. Ao mesmo tempo, as exportações inter-regionais de Água Virtual da Bacia Litoral AL PE PB se apresentaram menos concentradas. Entre os seus principais destinos, destacaram-se as Bacias Itapecuru-paraguaçu, para onde 10% das exportações de Água Virtual da Bacia Litoral AL PE PB foram direcionadas, seguida das Bacias Tietê (8%), Litoral RJ (6%), Paranaíba (6%), Guaíba (6%), São Francisco Submédio (4%), Paraíba (4%), Litoral CE PI (4%) e Tocantins Baixo (3%). Desse modo, verificaram-se que as exportações do Litoral AL PE PB se concentraram nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul.

Considerados os principais fluxos inter-regionais de Água Virtual em 2009, apresenta-se a seguir uma figura que ilustra a interdependência hídrica entre todas as regiões estudadas. De acordo com os dados obtidos, verificaram-se que as Bacias localizadas aproximadamente na região Sudeste foram as principais importadoras de Água Virtual, enquanto as principais exportadoras estavam localizadas principalmente na região Sudeste e Nordeste.

Figura 62 - Fluxo inter-regional de Água Virtual entre as 56 Bacias Hidrográficas do PNRH (milhões de m³) – 2009*

*O eixo vertical se refere às regiões de origem e o eixo horizontal se refere às regiões de destino.

Em alguns casos, as Bacias Hidrográficas transcendem os limites regionais do país definidos entre Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e Norte. Por isso, a identificação dessas regiões no gráfico trata-se de uma aproximação a título de auxiliar a leitura dos dados.

Fonte: dados da pesquisa.

Adicionalmente, verificaram-se, ainda, quais Bacias Hidrográficas foram exportadoras ou importadoras líquidas de Água Virtual no período analisado. Entre as 56 regiões estudadas, 24 foram exportadoras líquidas desse recurso, entre as quais se destacaram as Bacias Litoral AL PE PB, Grande, Litoral RS e Ibicuí, responsáveis por 61% das exportações líquidas inter-regionais de Água Virtual. No caso da Bacia Litoral AL PE PB, o maior superávit se deu

localizadas principalmente no Sudeste e as principais exportadoras estavam localizadas principalmente no Sudeste e no Nordeste. Adicionalmente, verificou-se que a maioria das Bacias Hidrográficas foram fortemente dependentes dos fluxos de recursos hídricos destinados e provenientes de outras regiões em 2009, chamando a atenção, portanto, para o caráter transfronteiriço da oferta e demanda desse bem.

5.8. O uso dos recursos hídricos e a disponibilidade hídrica

Com base nos dados disponíveis nos Cadernos das Regiões Hidrográficas que compõem o conjunto de publicações do PNRH (MMA, 2006e), fez-se um levantamento acerca das informações sobre o balanço entre a demanda e a disponibilidade hídrica em 2006 de cada uma das 56 Bacias Hidrográficas estudadas.

O balanço, por sua vez, é uma das principais ferramentas de suporte ao gerenciamento dos recursos hídricos, pois ao mensurar os impactos das realidades sociais, econômicas, políticas e ambientais de uma dada região sobre os seus recursos, indica os principais problemas sob a ótica da utilização da água.

Em síntese, o mesmo é igual ao IEA, quociente entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a disponibilidade hídrica⁵⁴, sendo análogo, portanto, ao WSI⁵⁵ proposto em alguns estudos mencionados no capítulo dois. Por sua vez, as faixas de classificação desses índices utilizadas pela *European Environment Agency* e pelas Nações Unidas são descritas a seguir, as quais também são adequadas para o caso brasileiro. (ANA, 2013b).

- a) $IEA < 5\%$ - Excelente. Pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária. A água é considerada um bem livre;
- b) $5\% \leq IEA < 10\%$ - A situação é confortável, podendo ocorrer necessidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimento;
- c) $10\% \leq IEA < 20\%$ - Preocupante. A atividade de gerenciamento é indispensável, exigindo a realização de investimentos médios;
- d) $20\% \leq IEA < 40\%$ - A situação é crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e grandes investimentos;

⁵⁴ “[...] em rios sem regularização, a vazão de estiagem - a vazão com permanência de 95%; em rios com regularização, a vazão regularizada somada ao incremento de vazão com permanência de 95% [...]”. (ANA, 2013b, p.141).

Cabe destacar que a disponibilidade hídrica, com a qual o PNRH trabalhou, representa a quantificação das águas superficiais e subterrâneas. Portanto, o balanço retrata apenas a existência ou não de conflitos em termos quantitativos, sem inclusão da qualidade dos recursos hídricos. (MMA, 2006e).

⁵⁵ Em alguns textos esse índice também é chamado de *Water Exploitation Index* (WEI).

e) $IEA \geq 40\%$ - A situação é muito crítica.

De acordo com o MMA (2006e), verificaram-se que entre as 56 Bacias Hidrográficas estudadas, 34 se encontravam em situação excelente ou confortável, enquanto 8 estavam em situação preocupante, 3 apresentaram um Balanço Hídrico crítico e em 11 Bacias esse resultado era muito crítico no ano de 2006. Desse modo, 22 regiões apresentaram um Balanço Hídrico delicado.

Em seguida, com base nas estimativas sobre o uso de água realizadas pela presente pesquisa, calcularam-se os Balanços Hídricos de 2009 por meio da razão entre o volume de água captado em 2009 e a disponibilidade hídrica reportada em 2006⁵⁶ pelo MMA (2006e) de cada uma das 56 Bacias. Desse modo, assumiram-se que não houveram variações climáticas que afetassem significativamente a disponibilidade hídrica das regiões mencionadas entre os dados reportados em 2006 e o ano de 2009.

Os resultados obtidos mostraram que 34 Bacias se encontravam em situação excelente ou confortável, enquanto 22 estavam em situação preocupante, crítica ou muito crítica no ano de 2009. Entre essas últimas, 5 apresentaram uma situação preocupante, em 8 o Balanço Hídrico era crítico e 9 Bacias apresentaram uma situação muito crítica, são elas: Litoral AL PE PB, cujo IEA em 2009 foi igual a 222%, Litoral SE (211%), Litoral SP (123%), Litoral RS (117%), Litoral RJ (103%), Ibucuí (96%), Negro RS (58%), Tietê (44%) e Mearim (40%).

Portanto, o número de Bacias que apresentaram um Balanço Hídrico desconfortável em 2009 se manteve o mesmo que em 2006, mudando apenas a distribuição das Bacias entre as faixas de classificação do IEA. Isto é, entre 2006 e 2009 o número de Bacias com o IEA preocupante e muito crítico caiu, ao passo que a quantidade de Bacias com um Balanço Hídrico crítico aumentou, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

⁵⁶ Disponíveis no PNRH (MMA, 2006e).

Figura 64 - Balanço Hídrico em 2006

Fonte: MMA, 2006e.

Figura 65 - Balanço Hídrico em 2009

Fonte: MMA, 2006e e dados da pesquisa.

Por sua vez, esses resultados refletem as diferenças no volume de água captado, já que a disponibilidade foi mantida constante no período. Portanto, pode ter ocorrido maior eficiência no uso dos recursos hídricos, menor atividade econômica, maior dependência dos recursos hídricos externos ou, ainda, esses resultados podem estar refletindo as diferentes metodologias empregadas no cálculo da captação.

De acordo com Hoekstra e Hung (2005), do ponto de vista da segurança hídrica, espera-se uma relação positiva entre os IEAs e os IDHs. Isto é, as Bacias Hidrográficas onde o Balanço Hídrico é preocupante devem recorrer relativamente mais às importações de Água Virtual, ao passo que as Bacias onde o Balanço Hídrico é confortável podem exportar relativamente mais Água Virtual.

A fim de testar essa hipótese, cruzaram-se os resultados obtidos nesta seção e na anterior. Desse modo, constataram-se que entre as 22 Bacias cujos Balanços Hídricos eram no mínimo preocupantes em 2009, 17 apresentaram um IDH maior que 50%. Ou seja, na maioria das regiões que apresentaram um Balanço Hídrico delicado no período, mais da metade das suas Pegadas Hídricas Totais (demanda por Água Virtual) foram provenientes das importações inter-regionais de Água Virtual (Pegada Hídrica Externa). Portanto, esse resultado corrobora com o esperado pela ótica da segurança hídrica.

No entanto, do ponto de vista da oferta de recursos hídricos, os resultados mostraram que entre as 22 Bacias onde os Balanços Hídricos eram no mínimo preocupantes em 2009, 17 apresentaram um IDEH maior que 50%. Isto é, a maioria das Bacias com problema no Balanço Hídrico exportaram mais da metade do volume de água captado em 2009.

De modo mais detalhado, destacam-se: (i) entre as 5 Bacias onde os IEAs eram preocupantes, todas apresentaram um IDEH maior que 50%; (ii) entre as 8 Bacias com IEAs críticos, 7 mostraram um IDEH maior que 50%; e (iii) entre as 9 Bacias com IEAs muito críticos, em 5 o IDEH foi maior que 50% no período.

Entre as 9 últimas Bacias mencionadas, destacam-se, por exemplo, o caso das Bacias Ibicuí e Litoral RS, as quais exportaram 97% e 93% da Pegada Hídrica Dentro das suas Bacias, respectivamente, ao passo que os seus Balanços Hídricos foram classificados como muito críticos em 2009.

Além disso, verificaram-se que as principais regiões exportadoras líquidas de Água Virtual também estão localizadas em regiões onde a relação entre a captação e a disponibilidade hídrica não era satisfatória no período. Por exemplo, a Bacia Litoral AL PE PB foi a principal região do ponto de vista das exportações líquidas de Água Virtual,

respondendo por 18% desse fluxo, mas, ao mesmo tempo, apresentou um Balanço Hídrico muito crítico em 2009. As demais regiões importantes quanto as exportações líquidas de Água Virtual apresentaram uma situação parecida, são elas: (i) Bacia Grande (IEA crítico); (ii) Litoral RS (IEA muito crítico); e (iii) Ibicuí (IEA muito crítico).

De acordo com os dados obtidos, verificaram-se ainda que as principais Bacias exportadoras de Água Virtual também apresentaram Balanços Hídricos críticos ou muito críticos no período.

Adicionalmente, constataram-se que 66% do volume de Água Virtual exportado entre as regiões estudadas em 2009 foram provenientes de Bacias onde a relação entre a captação e a disponibilidade de recursos hídricos estava, de alguma forma, comprometida. Isto é, 7% das exportações inter-regionais de Água Virtual se deram a partir de Bacias onde o Balanço Hídrico era preocupante, 28% foram provenientes de Bacias com o Balanço Hídrico era crítico e 31% foram originadas de Bacias onde esse balanço era muito crítico.

Com base nesses resultados, constataram-se que em alguns casos as exportações inter-regionais de Água Virtual ameaçaram a disponibilidade hídrica local. Entre as 22 Bacias que apresentaram um IEA maior ou igual a 10%, 9 veriam o *status* dos seus Balanços Hídricos melhorarem caso as suas exportações inter-regionais de Água Virtual de 2009 não tivessem ocorrido.

Além disso, é importante destacar que entre as 9 Bacias que apresentaram um Balanço Hídrico igual ou maior que 40%, as exportações de Água Virtual fizeram com que os IEAs excedessem o nível sustentável em 5 delas. Isto é, caso as exportações inter-regionais de Água Virtual das 9 Bacias mencionadas não tivessem ocorrido, 5 delas operariam dentro dos limites sustentáveis de captação de água, são elas: Litoral RS, Ibicuí, Negro RS, Tietê e Mearim.

As quatro Bacias que fugiram a essa regra foram: Litoral AL PE PB, Litoral SE, Litoral SP e Litoral RJ. Nesses casos, mesmo sem as exportações de Água Virtual, os IEAs ainda seriam maiores ou iguais a 40%.

Diante dessas considerações, pode-se verificar que do ponto de vista da oferta de Água Virtual, os fluxos inter-regionais apresentaram um resultado controverso quanto à perspectiva da segurança hídrica. Isto é, conforme mencionado anteriormente, de acordo com Hoekstra e Hung (2005), esperavam-se que as Bacias com Balanços Hídricos preocupantes, críticos ou muito críticos não fossem importantes exportadoras de Água Virtual.

Do ponto de vista da economia, a teoria do comércio de Heckscher e Ohlin (HO), prediz que um país exporta os produtos nos quais esse tem vantagens comparativas. Isto é, em linhas gerais, exporta produtos intensivos em fatores relativamente abundantes no seu

território. De modo similar, esse importa produtos que são intensivos em fatores relativamente escassos.

O primeiro teste empírico da teoria HO foi realizado por Leontief, o qual calculou, na década de 50, a quantidade de trabalho e capital contida nas exportações internacionais dos Estados Unidos. De acordo com os seus resultados, os Estados Unidos pareciam ser dotados relativamente de mais capital em comparação ao trabalho do que qualquer outro país.

Portanto, segundo essa teoria, os Estados Unidos deveriam exportar produtos intensivos em capital e importar *commodities* intensivas em trabalho. No entanto, os seus resultados apresentaram uma conclusão controversa, pois os Estados Unidos exportavam relativamente mais *commodities* intensivas em trabalho e importavam bens intensivos em capital, tornando-se conhecido, por isso, como o Paradoxo de Leontief. (GUAN; HUBACEK, 2007; DIETZENBACHER; VELÁZQUEZ, 2007).

Com base nessas considerações, esperavam-se que as Bacias Hidrográficas abundantes em recursos hídricos fossem exportadoras desses recursos, ao passo que as Bacias onde esses recursos fossem relativamente escassos, se mostrassem importadoras desse bem.

No entanto, os resultados obtidos mostraram que em algumas importantes Bacias em termos das exportações de Água Virtual, os resultados esperados não se verificaram, fazendo com que esses casos se identificassem muito mais com o Paradoxo de Leontief.

Apesar de parte dos resultados encontrados serem, aparentemente, contra intuitivos, não é incomum encontrar evidências semelhantes na literatura. Por exemplo, de acordo com Dietzenbacher e Velázquez (2007), a Andaluzia, uma das regiões mais áridas da Espanha, foi exportadora líquida de Água Virtual em 1990.

Por sua vez, Guan e Hubacek (2007) encontraram uma evidência parecida para as Regiões Hidrográficas da China. De acordo com os autores, a região Norte, pobre em recursos hídricos, produziu e exportou predominantemente produtos intensivos em água, ao passo que a região Sul, rica nesses recursos, importou bens intensivos nesse bem e exportou produtos não intensivos em água em 1997.

Feng et al. (2012) estudaram os fluxos inter-regionais de Água Virtual entre as três regiões que compõem o segundo maior rio da China (*Yellow River*) e o restante desse país. Essa pesquisa se deu porque o referido corpo hídrico tem passado por situações de restrições hídricas crescentes frente ao aumento do consumo de água, ao rápido crescimento econômico e à expansão da população urbana. No entanto, os resultados encontrados mostraram que as três regiões mencionadas foram exportadoras líquidas de Água Virtual em 2007.

Um dos motivos, recorrentemente apontados pela literatura, que explica essa aparente inconsistência, se refere ao fato de que mesmo em regiões onde se verifica algum cenário de restrição hídrica, em alguns casos os custos de produção dos bens e serviços intensivos em água são menores em relação às demais regiões. (LÓPES-MORALES; DUCHIN, 2015).

Portanto, os resultados encontrados podem, na verdade, não ser controversos do ponto de vista da teoria de HO. Isto é, conforme destacado por Wichelns (2004), as estratégias ótimas de comércio previstas por essa teoria são baseadas em uma série de características, tais como na dotação de diferentes recursos, nas tecnologias de produção, na qualidade do solo, no preço da terra e em outros fatores socioeconômicos e políticos.

Assim, extrair alguma conclusão sobre a predição da referida teoria baseado apenas na dotação de um único recurso pode não ser suficiente. Em contrapartida, no entanto, destaca-se que do ponto de vista da segurança hídrica os resultados sobre as exportações inter-regionais de Água Virtual permanecem controversos.

Diante disso, chama-se a atenção para o fato de que a ideia de Allan (1993), segundo a qual os recursos hídricos em regiões onde esses são abundantes podem ser um bem substituto para os recursos hídricos em regiões onde esses são escassos via o comércio de Água Virtual, não parece ser garantida de modo automático. Isto é, uma baixa disponibilidade hídrica local não é condição suficiente para que essa região seja uma importante importadora de Água Virtual, e vice-versa.

Para que os fluxos de Água Virtual sejam coerentes do ponto de vista da segurança hídrica, algumas políticas públicas podem ser adotadas com o objetivo de promover uma economia sustentável que utilize os recursos escassos de maneira menos intensiva. Entre elas, destacam-se algumas alternativas:

- a) Mudança tecnológica. A adoção de tecnologias de produção mais eficientes no uso dos recursos hídricos, as quais podem reduzir os coeficientes técnicos diretos de uso de água, contribuindo para o uso sustentável desse recurso;
- b) Mudança na estrutura de produção da economia, de modo a estimular a redução das exportações intensivas em Água Virtual e incentivar o crescimento das importações intensivas nesse recurso por parte de Bacias com Balanços Hídricos no mínimo preocupante;
- c) Introduzir uma precificação para os recursos hídricos ou aumentar o preço já existente. Por um lado, essa política pode fazer com que haja economia de água visto que os usuários serão estimulados a utilizar esse bem de modo mais eficiente. Por outro lado, essa ação poderá aumentar o preço dos produtos, particularmente,

daqueles intensivos nesse recurso. Assim, a demanda por tais produtos poderá se reduzir, levando à economia de água. Por sua vez, a receita pública advinda da precificação da água pode ser utilizada para subsidiar certos setores ou para compensar o aumento do preço desse bem para alguns grupos, como, por exemplo, para os usuários domésticos. (DIETZENBACHER; VELÁZQUEZ, 2007);

- d) Ampliar a disponibilidade hídrica em regiões com restrição de recursos hídricos por meio de medidas como regularização de vazões a partir de reservatórios, preservação de mananciais, melhoria da oferta de águas subterrâneas e transposição de Bacias vizinhas. (MMA, 2006b).

Por fim, diante dos resultados encontrados destaca-se o importante papel que as medidas sobre os fluxos de Água Virtual podem exercer como subsídio para a tomada de decisões e à formulação de políticas públicas voltadas ao gerenciamento sustentável dos recursos hídricos, especialmente, em regiões onde tais recursos são escassos.

5.9. Interdependência hídrica x interdependência econômica

De acordo com Guan e Hubacek (2007), as Bacias Hidrográficas com recursos hídricos limitados ou que estejam em situação crítica segundo os seus respectivos Balanços Hídricos, deveriam produzir e exportar bens e serviços com alto VA por unidade hídrica. Portanto, uma das explicações para os resultados controversos encontrados na seção anterior, pode dizer respeito à geração de VA.

A fim de verificar se as exportações de Água Virtual contribuíram para a geração de VA nas Bacias onde os Balanços Hídricos eram no mínimo preocupantes em 2009, primeiramente compararam-se os resultados obtidos sobre a interdependência hídrica e econômica apresentados nas seções anteriores.

De acordo com os estudos realizados ao longo desta pesquisa, verificaram-se que na maioria das Bacias Hidrográficas os fluxos de Água Virtual foram principalmente inter-regionais enquanto os fluxos de VA foram prioritariamente intrarregionais. Desse modo, nota-se que a interdependência hídrica foi maior que a interdependência econômica no período.

Pela ótica da oferta, a maioria das Bacias exportaram mais de 50% da sua produção local de Água Virtual, ao passo que menos de 50% do seu VA foi gerado pelas exportações

(49 e 44 Bacias Hidrográficas, respectivamente)⁵⁷. Portanto, enquanto a produção de Água Virtual foi fortemente destinada às exportações inter-regionais em 2009, a geração de VA se deu na produção de bens e serviços que ficaram relativamente mais retidos na região de origem.

Pela ótica da demanda, constataram-se que a maioria das Bacias (48 Bacias Hidrográficas) importaram mais de 50% do volume de Água Virtual utilizado internamente, ao mesmo tempo em que mais de 50% do VA gerado pela maioria das Bacias (30 Bacias Hidrográficas) se deram por meio das importações inter-regionais de bens e serviços.

Isto é, conforme verificado nas seções anteriores, confirmam-se, portanto, as evidências encontradas. Os fluxos inter-regionais de Água Virtual superaram os de VA, sugerindo que os primeiros disseram respeito ao comércio de bens e serviços de baixo VA, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

Figura 66 - Interdependência econômica x interdependência hídrica: ótica da oferta

Fonte: dados da pesquisa⁵⁸.

⁵⁷ De modo análogo aos índices definidos para a interpretação dos resultados sobre os fluxos inter-regionais de Água Virtual, nesta seção chama-se: (i) Índice de Dependência das Exportações de VA (IDEVA) a razão entre o volume de VA gerado pelas exportações e a geração total de VA devido à oferta de bens e serviços; (ii) Índice de Dependência de VA (IDVA), a razão entre o volume de VA gerado pelas importações e a geração total de VA devido à demanda de bens e serviços.

⁵⁸ A informação sobre a Bacia Litoral BA ES foi suprimida nas figuras 66 e 67 porque houve um desvio no seu indicador, o qual distorce a visualização dos resultados referentes às demais regiões. Por sua vez, esse desvio se deu frente aos ajustes realizados a fim de corrigir os fluxos inter-regionais entre as Bacias não vizinhas do setor de Cana-de-açúcar e os setores de Cana-de-açúcar, Fabricação de açúcar e Alcool, mencionados no capítulo 3.

Figura 67 - Interdependência econômica x interdependência hídrica: ótica da demanda

Fonte: dados da pesquisa.

A fim de reunir mais informações úteis à verificação da hipótese levantada, compararam-se os dados obtidos sobre o TiVA e TiVW de modo mais detalhado. De acordo com essas informações, notaram-se que algumas das principais Bacias do ponto de vista da geração de VA via exportações de bens e serviços, não responderam por parcela significativa das exportações de Água Virtual. Entre essas, destacam-se as Bacias Tietê e Litoral RJ, ambas localizadas na região Sudeste.

Enquanto que 28% do VA da Bacia Tietê se deu via exportações inter-regionais, a mesma respondeu por apenas 6% das exportações de Água Virtual no período. No caso da Bacia Litoral RJ essas relações foram de 7% versus 3%. Portanto, notam-se que as exportações inter-regionais originadas dessas regiões não foram intensivas em Água Virtual em 2009, sugerindo que nesses casos a geração de VA não foi intensiva em recursos hídricos⁵⁹.

⁵⁹ Esses resultados também sugerem, à primeira vista, que as exportações inter-regionais das regiões mencionadas não ameaçaram o uso dos recursos hídricos locais, possibilidade sobre a qual chamou-se a atenção na seção 4.4.

Sobre esse ponto, é importante lembrar que o presente estudo está analisando o fluxo de Água Virtual em termos de água captada. No entanto, parte das Bacias Tietê e Litoral RJ foram classificadas pela ANA (2016a) como regiões críticas do ponto de vista do Balanço Hídrico qualitativo. Isto é, a capacidade de assimilação de cargas orgânicas domésticas pelos corpos d'água em parte dessas Bacias está ameaçada, resultando, portanto, na poluição desses corpos. Assim, a sugestão de que as exportações inter-regionais originadas dessas regiões não foram intensivas em Água Virtual em 2009 e, portanto, parecem não ameaçar o uso dos recursos hídricos locais,

Em contrapartida, algumas regiões pouco expressivas em relação à geração de VA via exportações se mostraram importantes do ponto de vista das exportações de Água Virtual. Entre essas destacaram-se as Bacias Litoral AL PE PB, onde 2% do VA se deu pelas exportações inter-regionais, ao mesmo tempo em que respondeu por 9,7% das exportações de Água Virtual. Em seguida, se destacaram as Bacias Litoral RS e Ibicuí, cujas referidas participações foram 0,8% versus 5,7% e 0,2% versus 4,6%, respectivamente.

No entanto, essas evidências ainda não são suficientes para se concluir acerca da contribuição das exportações de Água Virtual das Bacias vulneráveis às restrições hídricas na geração de VA.

Para estudar esse tema de modo mais aprofundado, calcularam-se a relação entre o VA gerado via exportações inter-regionais e as exportações de Água Virtual. Para isso, estimaram-se quantos milhões de Reais de VA foram gerados em uma dada região frente à exportação de um milhão de m³ de Água Virtual dessa mesma região. À essa relação deu-se o nome de Índice de VA por Água Virtual (IVV). Assim, está se medindo quanto as exportações de cada setor e Bacia contribuíram para o PIB local por um milhão de m³ de água, de modo que quanto maior esse indicador, mais intensivas as exportações de Água Virtual foram em VA.

De acordo com os resultados obtidos, o comércio inter-regional de Água Virtual em 2009 gerou, em média, R\$34 milhões de VA para cada 1 milhão de m³ de Água Virtual transacionado entre as Bacias. No entanto, no que se refere às exportações entre as 56 regiões estudadas, apenas 19 Bacias apresentaram esse indicador maior que a média, não confirmando, portanto, a hipótese levantada para a maioria das regiões. Isto é, as exportações de Água Virtual estavam baseadas, principalmente, nos fluxos de bens e serviços de baixo VA em 2009.

No que se refere às 22 Bacias que apresentaram uma relação delicada entre a captação e a disponibilidade hídrica em 2009, apenas seis exibiram o referido indicador maior que a média nacional, são elas: (i) Tietê; (ii) Litoral SP; (iii) Litoral RJ; (iv) Litoral ES; (v) Mearim; e (vi) Itapecuru-paraguaçu.

Com relação às regiões exportadoras líquidas de Água Virtual que estão localizadas em regiões críticas do ponto de vista do Balanço Hídrico, verificaram-se que todas elas apresentaram o quociente entre o VA gerado via exportações e as exportações de Água Virtual menor que a média nacional, conforme ilustrado nas figuras a seguir.

pode não se aplicar para o caso onde a análise do fluxo de Água Virtual seja baseada no volume de água retornada ou descartada.

Figura 68 - VA gerado via exportações/exportações de Água Virtual: regiões abaixo e acima da média nacional - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Figura 69 - VA gerado via exportações/exportações de Água Virtual (milhões de Reais/milhão de m³) - 2009

Fonte: dados da pesquisa.

Portanto, a hipótese de que as exportações de Água Virtual tenham sido importantes na geração de VA não se verificou para a maioria das Bacias estudadas, bem como para aquelas que apresentaram Balanços Hídricos delicados no período, para os quais se esperava uma relação entre o VA e o volume de Água Virtual exportado maior que a média nacional.

6. ANÁLISES DE IMPACTOS

Este capítulo se dedica a algumas aplicações possíveis dos resultados encontrados pela presente pesquisa. Visto que, por meio desses resultados, passou-se a conhecer a dependência de cada setor e das economias regionais em relação aos recursos hídricos, propôs-se verificar se as mudanças climáticas podem exercer algum efeito sobre o Balanço Hídrico de cada Bacia considerada.

Em seguida, diante dos cenários adversos verificados em 2009 no que se refere à insustentabilidade do uso de água, apresenta-se um exercício com o objetivo de explorar os possíveis impactos do chamado Efeito Tecnológico sobre os IEAs. Desse modo, procura-se explorar uma das alternativas de mitigação de restrições hídricas recorrentemente apontada na literatura.

6.1. Efeito das mudanças climáticas sobre os Balanços Hídricos regionais

O uso da água disponível nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos para além da quantidade sustentável pode colocar em risco a disponibilidade desse bem. Visto que esse recurso é um importante fator de produção e consumo, restrições no seu uso podem se traduzir em custos para a economia local.

Tais restrições, por sua vez, podem se dar tanto pela ótica da demanda quanto da oferta. Pelo lado da demanda, uma restrição na captação de água pode ser imposta pelo ajuste do volume captado de acordo com a quantidade sustentável. Nesse sentido, regiões onde o IEA é considerado insustentável, incorrerão em custos para adequar o seu padrão de captação dentro desse limite.

Pelo lado da oferta, essas limitações podem ser desencadeadas pela própria disponibilidade de água. Por exemplo, mudanças nos regimes de chuvas podem afetar a disponibilidade hídrica dos corpos hídricos superficiais e subterrâneos de uma dada região, de modo que, diante de um padrão de uso desses recursos, o Balanço Hídrico local pode se tornar insustentável, ameaçando, portanto, a sua captação na referida localidade.

Portanto, a restrição sobre o uso de qualquer recurso natural não se dá primeiramente pela limitação da sua disponibilidade, mas antes disso, é imposta pelo limite sustentável de utilização do recurso em questão. Se um recurso natural é extraído dentro dos seus limites de regeneração, sua oferta estará garantida ao longo do tempo. Caso contrário, se a sua extração

exceder o nível pelo qual o meio consegue se restaurar, a sua oferta será comprometida mais cedo ou mais tarde.

Por isso, antes de estudar acerca dos limites de extração de algum recurso natural, é fundamental dispor de uma medida sobre até que ponto a extração de um dado bem respeita os seus limites de restauração.

No que se refere à água disponível nos corpos hídricos superficiais e subterrâneos, a literatura aponta que esse limite seria algo em torno de um IEA maior ou igual a 40%. De acordo com Alcamo, Henrichs e Rosch (2000), isso significa que o uso de água a jusante das localidades onde se verificam tal índice pode ser prejudicado. Pode haver mais chances de ocorrência de escassez hídrica absoluta em alguns trechos dessas regiões nos períodos de baixos fluxos hídricos. Assim, além da consequente interrupção da captação de água, os fluxos hídricos nas regiões próximas podem ser insuficientes para sustentar os ecossistemas aquáticos locais.

Conforme os resultados encontrados na seção anterior, verificou-se que o IEA foi maior ou igual a 40% em 9 Bacias no ano de 2009. Portanto, conforme já mencionado, as mesmas estavam em uma situação muito crítica do ponto de vista do Balanço Hídrico.

Diante desse cenário, estimaram-se quais seriam os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre os Balanços Hídricos regionais. Desse modo, procuraram-se acessar quais os potenciais riscos advindos das mudanças climáticas sobre o uso sustentável dos recursos hídricos.

De acordo com o Quinto Relatório de Avaliação (AR5) do Grupo de Trabalho 2 (GT2)⁶⁰ do IPCC, o qual trata a respeito dos futuros efeitos potenciais das mudanças climáticas sobre o Brasil, as mudanças climáticas globais podem interferir na disponibilidade hídrica do país. (MAGRIN, 2014).

Segundo esse documento, as regiões Sul e Sudeste do Brasil serão as mais vulneráveis às mudanças climáticas. Além disso, o risco de escassez de abastecimento de água deverá aumentar devido às reduções de precipitação e do aumento da evapotranspiração⁶¹ nas regiões semiáridas, afetando o abastecimento de água nas cidades e a geração de energia hidroelétrica, exercendo impactos particularmente sobre a agricultura de subsistência. (Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), 2016).

⁶⁰ Grupo de trabalho responsável pelo estudo acerca dos impactos, adaptação e vulnerabilidade advindos das mudanças climáticas.

⁶¹ A água evapora dos solos e das superfícies líquidas como resultado da ação das energias solar e eólica. Somado a isso, as plantas retiram água do solo e a liberam na atmosfera, através dos estômatos de suas folhas, em um processo conhecido como transpiração. Os processos de evaporação e transpiração combinados são chamados de evapotranspiração. (HOEKSTRA et al. 2011).

Para o atendimento do objetivo proposto nesta seção, além dos IEAs de 2009, já estimados no capítulo anterior, calcularam-se os IEAs de cada uma das 56 Bacias Hidrográficas com base nas disponibilidades hídricas dos períodos entre 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099, as quais foram estimadas de acordo com dois cenários de mudanças climáticas globais.

Esses cenários, por sua vez, foram simulados no estudo editado por Teixeira, Orsini e Cruz (2016) em parceria com a Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima). O primeiro, chamado *Representative Concentration Pathways* (RCP) 4.5, considera emissões intermediárias de gases de efeito estufa e, portanto, se trata de um cenário otimista. O segundo, RCP 8.5, considera altas emissões, configurando-se, então, em um cenário pessimista⁶².

Com base nesses cenários, Nobre et al. (2016) simularam os efeitos dos diferentes níveis de emissões de gases do efeito estufa do RCP 4.5 e RCP 8.5 sobre o aumento de temperatura do planeta. Por sua vez, os resultados indicaram um aquecimento médio global de dois e quatro graus Celsius em relação ao período pré-industrial, respectivamente, até o final do século XXI.

Em seguida, Chou et al. (2016) estimaram os efeitos dessas variações sobre a precipitação pluviométrica no Brasil e Ribeiro Neto, Paz e Silva (2016) utilizaram essas informações para simular os impactos desses resultados sobre a disponibilidade hídrica em 23 Bacias Hidrográficas brasileiras nos períodos mencionados. Para isso os autores utilizaram a variável vazão de estiagem para medir a disponibilidade hídrica, a qual se refere à vazão com permanência de 95% do tempo (Q₉₅)⁶³.

Por sua vez, os resultados sobre as referidas disponibilidades são apresentados em termos da variação percentual do Q₉₅ entre o período base, que no caso da base de dados utilizada refere-se ao período entre 1961 e 1990, e os períodos futuros mencionados.

Assim, utilizando essas informações, a presente pesquisa calculou as disponibilidades hídricas referentes aos cenários de mudanças climáticas descritos para as 56 Bacias

⁶² “[...]. Em relação à concentração dos gases, o cenário RCP 4.5 atinge cerca de 650 partes por milhão (ppm) de CO₂ equivalente no final do século, enquanto que, no cenário RCP 8.5, o CO₂ equivalente excede 1.000 ppm.” (TEIXEIRA; ORSINI; CRUZ, 2016, p. 56). A título de comparação, em torno do ano 2000, essa medida era igual a 368 ppm. (TEIXEIRA; ORSINI; CRUZ, 2016).

⁶³ “De acordo com a ANA (2013), para o cálculo da disponibilidade hídrica de águas superficiais em bacias com regularização, adota-se a vazão incremental de estiagem para os trechos não regularizados somada à vazão regularizada pelos reservatórios com 100% de garantia. Em rios sem regularização, a disponibilidade é considerada como igual à vazão de estiagem. Considera-se como de estiagem a vazão com permanência de 95% do tempo (Q₉₅). Como neste estudo não houve simulação dos reservatórios, a disponibilidade hídrica em todas as regiões foi considerada como igual a Q₉₅. [...]” (RIBEIRO NETO; PAZ; SILVA, 2016, p. 216).

Hidrográficas do PNRH nos períodos entre 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099, conforme os procedimentos a seguir:

- a) Como os recortes regionais trabalhados em Ribeiro Neto, Paz e Silva (2016) e na presente pesquisa são diferentes entre si, mas estão baseados na Divisão Hidrográfica Nacional, foi possível identificar quais entre as 56 Bacias do PNRH estão inseridas em cada uma das 23 Bacias estudadas pelos autores. Assim, as informações sobre as disponibilidades hídricas das 23 Bacias Hidrográficas foram desagregadas em termos das 56 Bacias do PNRH;
- b) No que se refere aos cenários RCP 8.5, os mesmos foram simulados de acordo com dois modelos climatológicos globais. Assim, seguindo o procedimento adotado em Ribeiro Neto, Paz e Silva (2016), empregou-se a média aritmética entre os resultados obtidos por esses modelos;
- c) Como os resultados de Ribeiro Neto, Paz & Silva (2016) são apresentados em termos de variação percentual entre as disponibilidades hídricas do período base (1961-1990) e os períodos entre 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099, calcularam-se as disponibilidades hídricas em volume para os três últimos períodos utilizando como base as disponibilidades hídricas das 56 Bacias Hidrográficas do PNRH reportadas pelo MMA em 2006 (MMA, 2006e), conforme descrito a seguir.

$$Q_{95_{cp}}^b = \frac{Q_{95_{base}}^b}{C_{basec}^b} \quad (29)$$

Onde:

$Q_{95_{cp}}^b$: disponibilidade hídrica em m³ da Bacia “b” no cenário “c” referente ao período “p”;

$Q_{95_{base}}^b$: disponibilidade hídrica em m³ da Bacia “b” no ano base de 2006;

C_{basec}^b : razão entre $Q_{95_{base}}^b$ e $Q_{95_{cp}}^b$, obtidos de Ribeiro Neto, Paz & Silva (2016).

Assim, com base na disponibilidade hídrica estimada para cada uma das 56 Bacias Hidrográficas referentes aos dois cenários de mudanças climáticas e aos períodos entre 2011-2040, 2041-2070 e 2071-2099, e considerando o volume de água captado em cada uma delas em 2009, calcularam-se os respectivos IEAs.

Portanto, os resultados obtidos refletem os possíveis impactos das mudanças climáticas sobre os IEAs de cada Bacia estudada, considerando fixo o padrão de captação de água verificado em 2009. Desse modo, seguiram-se os procedimentos adotados por Ribeiro Neto, Paz e Silva (2016) e pela Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima⁶⁴ (UNFCCC, acrônimo em inglês) (MCTI, 2016).

Entre os resultados obtidos, verificaram-se que as 9 Bacias cujos IEAs eram maiores ou iguais a 40% em 2009, permaneceram nessas condições nos cenários com mudanças climáticas e 5 Bacias adicionais passaram a apresentar esse indicador maior ou igual ao nível sustentável em pelo menos um dos cenários. São elas: Itapecuru, Litoral CE PB, Paraíba, Itapecuru-paraguaçu e Guaíba, conforme ilustrado pelas figuras a seguir.

Figura 70 - IEA de 2009 e sob as mudanças climáticas projetadas pelo cenário otimista (RCP 4.5)*

*Apenas Bacias cujos IEAs foram maiores ou iguais a 40% em um dos períodos analisados.

Fonte: dados da pesquisa.

⁶⁴ “Esta Terceira Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, acrônimo em inglês) atende ao compromisso do País, como integrante da Convenção, de elaborar, atualizar e prover à Conferência das Partes inventários nacionais de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de todos os gases de efeito estufa (GEE) não controlados pelo Protocolo de Montreal. Além disso, apresenta os avanços científicos sobre a modelagem regional da mudança do clima e o atual estágio das políticas públicas voltadas para a mitigação das emissões de GEE e de adaptação à mudança do clima.” (MCTI, 2016, p.10).

Figura 71 - IEA de 2009 e sob as mudanças climáticas projetadas pelo cenário pessimista (RCP 8.5)*

*Apenas Bacias cujos IEAs foram maiores ou iguais a 40% em um dos períodos analisados.

Fonte: dados da pesquisa.

De acordo com os resultados obtidos verificaram-se que as mudanças climáticas podem exercer impactos diferentes a depender da região onde as Bacias Hidrográficas estão localizadas. Isto é, tanto no cenário otimista quanto no pessimista, certificaram-se que as mudanças climáticas têm o potencial de piorar o Balanço Hídrico das Bacias da região Nordeste, ao passo que podem melhorar esse indicador das Bacias das regiões Sudeste e Sul no longo prazo.

Esse resultado reflete, portanto, as variações na precipitação projetadas pelo IPCC. De acordo com o MCTI (2016), tais variações podem se traduzir na redução da precipitação na região Nordeste em torno de 22% entre 2011 e 2009, ao passo que pode haver um acréscimo de 23% no Sul e no Sudeste no mesmo período. Diante disso, certamente tais variações impactarão na disponibilidade hídrica, conforme apontado por Ribeiro Neto, Paz e Silva (2016) e sugerido pelos resultados encontrados.

Entre as Bacias cujas mudanças climáticas podem se configurar em um risco bastante significativo do ponto de vista do Balanço Hídrico, destacaram-se as Bacias Litoral SE, Mearim, Litoral AL PE PB e Itapecuru-paraguaçu.

Assim, a partir deste exercício, apresentou-se uma das aplicações possíveis dos resultados encontrados sobre o uso de água por parte das Bacias Hidrográficas brasileiras. No

entanto, o mesmo apresenta uma série de limitações, as quais, contudo, podem dar espaço às pesquisas adicionais sobre o tema. Entre essas, destaca-se a seguinte.

Para uma avaliação do risco climático total é necessário considerar os riscos advindos das mudanças climáticas, conforme proposto pelo presente exercício, mas também os riscos já existentes visto as trajetórias socioeconômicas previstas. Na aplicação realizada, avaliaram-se os efeitos das mudanças climáticas sobre os Balanços Hídricos regionais para um nível fixo de captação de água.

No entanto, para completar a análise acerca dos riscos climáticos totais, é preciso estimar as demandas futuras por água de cada Bacia estudada e verificar quais os seus impactos sobre os respectivos IEAs. Por sua vez, essa etapa pode se configurar em uma contribuição importante a ser realizada por pesquisas futuras, para a qual a aplicação do modelo de Equilíbrio Geral se faz bastante útil.

6.2. Impactos da eficiência no uso de água sobre os Balanços Hídricos regionais

Muitas vezes quando o *trade-off* entre o crescimento econômico e a sustentabilidade ambiental é tratado como mito, logo o chamado Efeito Tecnológico é mencionado como uma das alternativas mais viáveis para tornar essa relação harmoniosa. De acordo com alguns pesquisadores, o crescimento econômico pode deixar de ameaçar o meio ambiente se houver maior eficiência no uso dos recursos naturais ou, de modo análogo, na emissão de poluentes, a qual pode ser factível a partir do emprego de tecnologias que permitam esse ganho.

Grossman e Krueger (1995) são recorrentemente citados quando se procura ilustrar essa ideia. Ao estudarem a relação entre a renda *per capita* e quatro indicadores ambientais⁶⁵ para diversos países, encontraram uma relação no formato de U invertido entre tais variáveis. Desse modo, sugeriram que a poluição é crescente enquanto a renda *per capita* é baixa, ao passo que a mesma passa a ser decrescente quando o nível de renda *per capita* aumenta.

Por sua vez, entre as possíveis explicações para esse fenômeno, destaca-se o chamado Efeito Tecnológico. De acordo com os autores, mudanças na tecnologia de produção podem ser suficientemente fortes para mais que compensar os efeitos adversos do crescimento das atividades econômicas sobre o meio ambiente.

⁶⁵ As quatro variáveis ambientais utilizadas são: (i) poluição do ar urbano; (ii) estado do regime de oxigênio nas Bacias Hidrográficas; (iii) contaminação fecal nas Bacias Hidrográficas; e (iv) contaminação por metais pesados nas Bacias Hidrográficas. (GROSSMAN; KRUEGER, 1995).

Diante dessas considerações, a presente seção propõe um exercício com o intuito de avaliar quais os possíveis impactos sobre os Balanços Hídricos das regiões estudadas, caso os recursos hídricos sejam utilizados de modo mais eficiente, em relação ao padrão verificado em 2009.

Ao estimar e analisar as informações sobre os coeficientes técnicos diretos de captação de água dos 50 setores das 56 Bacias Hidrográficas, verificaram-se diferenças regionais significativas, as quais provavelmente estão associadas, principalmente, às variabilidades climáticas e tipos de solos, conforme já mencionado ao longo desta pesquisa. No entanto, há a possibilidade de que essas diferenças também reflitam, em algum grau, tecnologias de produção distintas.

Diante disso, a simulação proposta se baseia na ideia de transferência de tecnologia como possível estratégia de mitigação da pressão que o atual padrão de uso da água exerce sobre a disponibilidade hídrica em algumas Bacias, conforme a aplicação realizada por Imori (2015) para o caso das emissões de dióxido de carbono (CO₂).

Desse modo, esta seção é dedicada à avaliação dos efeitos de uma suposta transferência tecnológica sobre os IEAs nas regiões estudadas. Assim, assumiu-se que cada setor de cada Bacia adotou a melhor tecnologia no uso de água disponível no país no que se refere ao seu ramo de atividade⁶⁶.

Conforme apresentado nas seções anteriores, 22 Bacias Hidrográficas estavam em situação preocupante, crítica ou muito crítica em 2009 no que se refere ao Balanço Hídrico, sendo que, entre esse grupo, 9 apresentaram uma situação muito crítica. Por sua vez, no cenário com eficiência no uso dos recursos hídricos, verificou-se uma melhora considerável, pois apenas 6 Bacias se mostraram em situação preocupante, crítica ou muito crítica, ao passo que apenas 2 regiões apresentaram situação muito crítica, as Bacias Litoral SE e Litoral SP, conforme ilustrado a seguir.

⁶⁶ Assumiu-se, portanto, que uma Bacia pode adotar a tecnologia mais eficiente no uso de água disponível no país, de modo que os custos dessa transferência não foram avaliados.

Figura 72 - Comparação entre os Balanços Hídricos de 2009: sem e com eficiência hídrica

Fonte: dados da pesquisa.

Apesar das limitações desse tipo de exercício, os resultados encontrados são importantes ao chamar a atenção para os possíveis efeitos positivos que melhorias na eficiência no uso dos recursos hídricos podem produzir sobre a gestão sustentável desse bem. Afinal, no caso da presente simulação, apenas duas Bacias operariam com um IEA maior que 40%.

Além disso, os resultados acerca das regiões que permaneceriam em uma situação desconfortável do ponto de vista do Balanço Hídrico mesmo em um cenário com grande eficiência hídrica, chamam a atenção para a dramaticidade do manejo desses recursos nas referidas localidades. Isto é, nas Bacias Litoral SE e Litoral SP, mudanças drásticas na tecnologia de produção parecem não ser suficientes para restabelecer o equilíbrio entre a demanda e oferta de água.

Sendo assim, outras medidas de mitigação, tais como, incentivos à alteração da composição das economias locais em direção às atividades menos intensivas em água, incentivos à importação de bens e serviços intensivos nesse bem, políticas regulatórias que impeçam a extração desse recurso para além do limite sustentável, além do reúso e transposição de água, podem ser uma solução.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil apresenta uma situação confortável em relação à disponibilidade hídrica. No entanto, existe uma distribuição espacial desigual desse recurso no país. Essas características, associadas à forte concentração econômica, têm feito com que algumas regiões enfrentem restrições na disponibilidade de água doce.

Diante disso, a fim de identificar quais os principais responsáveis pela utilização da água no Brasil, calcularam-se os coeficientes técnicos diretos de captação, consumo e retorno de água, bem como as respectivas vazões. Com base nessas informações, estimaram-se os fluxos inter-regionais de Água Virtual e as Pegadas Hídricas dos 50 setores de cada uma das 56 Bacias Hidrográficas do PNRH. Em seguida, verificaram-se os impactos do padrão de uso da água sobre os Balanços Hídricos locais, seguido de algumas aplicações das informações encontradas.

Nesse contexto, certificaram-se que o PIB do Brasil em 2009 foi de R\$3,2 trilhões, de modo que a economia nacional foi fortemente dependente do mercado interno, sendo o setor de serviços o principal responsável por esse resultado, seguido das atividades industriais, agrícolas e pecuárias.

Em termos regionais, verificou-se forte concentração econômica nas regiões Sudeste e Sul do país, com destaque para a Bacia Tietê, ao passo que muitas economias regionais apresentaram estrutura econômica bastante heterogênea quando comparadas à média nacional.

Do ponto de vista da interdependência econômica, verificaram-se que os fluxos de VA foram prioritariamente intrarregionais. Em relação aos R\$2,8 trilhões de VA em 2009, 61% estavam relacionados aos fluxos intrarregionais. Mesmo assim, os fluxos inter-regionais foram responsáveis por quase 40% desses fluxos, indicando um padrão de interdependência econômica significativo.

No entanto, tamanha interdependência não parece ter se traduzido em grande integração nacional, pois apenas algumas Bacias Hidrográficas foram responsáveis por uma parcela expressiva desses fluxos. Entre essas, destacaram-se as localizadas na região Sudeste, em especial as Bacias Tietê e Litoral RJ.

Entre os principais resultados sobre o uso dos recursos hídricos, verificou-se uma dinâmica distinta em relação ao observado para as variáveis estritamente econômicas. Do ponto de vista da intensidade hídrica direta, algumas atividades agrícolas foram tão intensivas em recursos hídricos quanto o setor de Água e esgoto. Em seguida, destacaram-se a pecuária e a indústria.

De acordo com as intensidades hídricas totais, o setor agrícola se mostrou como a atividade mais intensiva em recursos hídricos, enquanto a indústria passou a superar o setor de Água e esgoto. Em seguida, destacaram-se o setor de pecuária e serviços.

No que se refere ao volume de água captado diretamente dos corpos hídricos, verificou-se que esse totalizou 60,6 bilhões de m³ em 2009 em todo país, de modo que entre os 50 setores estudados, o de Água e esgoto foi o principal responsável, respondendo por 39%. Em seguida, destacaram-se o cultivo de Cana-de-açúcar (24%) e de Arroz (13%).

Outro aspecto sobre o qual a dinâmica do uso de água se mostrou distinta daquela verificada para as variáveis econômicas se refere à distribuição regional da primeira. Isto é, enquanto se verificou considerável concentração econômica nas Bacias Hidrográficas localizadas nas regiões Sudeste e Sul, do ponto de vista das Pegadas Hídricas Dentro das Bacias, ou da oferta de água, a Bacia Hidrográfica Litoral AL PE PB foi a principal, respondendo por 13% do total de água captada no país.

Em seguida, destacaram-se algumas Bacias localizadas nas regiões Sudeste e Sul, tais como as Bacias Grande, Tietê, Paraíba do Sul, Guaíba, Paranaíba e Litoral RS, as quais responderam por 50% da água captada no Brasil.

Com relação às Pegadas Hídricas Totais, ou demanda por Água Azul, a principal região foi a Bacia Tietê, respondendo por 14% da demanda de água do país. Em seguida, as Bacias Litoral AL PE PB, Grande, Litoral RJ, Paranaíba, Guaíba e Paraíba do Sul se destacaram, sendo responsáveis por 52% da Pegada Hídrica Total em 2009.

Adicionalmente, verificaram-se que as Pegadas Hídricas Totais de 48 Bacias, entre as 56 estudadas, foram principalmente de origem externas (Pegada Hídrica Externa). Isto é, nesses casos, a maior parcela do volume de água demandado foi proveniente de outras regiões, via importação de Água Virtual. De modo análogo, verificaram-se que 49 Bacias destinaram mais de 50% das suas Pegadas Hídricas Dentro da Bacia para as exportações inter-regionais de Água Virtual.

Desse modo, constatou-se que a maioria das Bacias Hidrográficas foi fortemente dependente dos fluxos de recursos hídricos destinados e provenientes de outras regiões, de modo que os fluxos de Água Virtual foram principalmente inter-regionais. Em relação ao volume de água captado em 2009 no país, 61% se referiram aos fluxos inter-regionais de Água Virtual. Assim, chama-se a atenção para o caráter transfronteiriço da oferta e demanda desse recurso no país.

No que refere aos Balanços Hídricos de cada região estudada, observaram-se que 34 Bacias se encontravam em situação excelente ou confortável, enquanto 22 estavam em

situação preocupante, crítica ou muito crítica no ano de 2006, de modo que esses números se mantiveram em 2009.

Entre essas 22 Bacias, 5 apresentaram uma situação preocupante, em 8 o Balanço Hídrico era crítico e 9 Bacias apresentaram uma situação muito crítica, sendo que a Bacia Litoral AL PE PB apresentou o pior resultado em 2009.

Assim, verificaram-se que 66% do volume de Água Virtual exportado entre as regiões estudadas em 2009 foram provenientes de Bacias onde o Balanço Hídrico era delicado. Isto é, 7% das exportações inter-regionais de Água Virtual se deram a partir de Bacias onde o Balanço Hídrico era preocupante, 28% foram provenientes de Bacias com o Balanço Hídrico crítico e 31% foram originadas de Bacias onde esse balanço era muito crítico.

Além disso, verificaram-se que em alguns casos as exportações inter-regionais de Água Virtual ameaçaram a disponibilidade hídrica local. Entre as 22 Bacias que apresentaram um IEA maior ou igual a 10%, 9 veriam o *status* dos seus Balanços Hídricos melhorarem caso as suas exportações inter-regionais de Água Virtual em 2009 não tivessem ocorrido. Além disso, entre as 9 Bacias que apresentaram um Balanço Hídrico igual ou maior que 40%, as exportações de Água Virtual fizeram com que os IEAs excedessem o nível sustentável em 5 delas.

Do ponto de vista da segurança hídrica, esperavam-se que as Bacias Hidrográficas abundantes em recursos hídricos fossem importantes exportadoras de Água Virtual, ao passo que as Bacias onde esse bem fosse relativamente escasso, fossem importantes importadoras desse recurso. No entanto, as evidências encontradas confirmaram essa hipótese no que se refere às importações, mas no que se refere às exportações inter-regionais de Água Virtual a mesma não se verificou.

Uma das justificativas para essa controvérsia pode estar relacionada à geração de VA. Isto é, levantou-se a possibilidade de que as exportações inter-regionais de Água Virtual nesses casos pudessem se justificar por produzir importantes volumes de VA para as respectivas economias locais.

Porém, ao comparar o padrão de interdependência econômica e hídrica entre as Bacias estudadas e a relação entre o VA e o volume de Água Virtual incorporado nas exportações de 2009, verificou-se que a interdependência hídrica foi maior que a interdependência econômica, de modo que as exportações de Água Virtual estavam baseadas principalmente nos fluxos de baixo VA.

Um dos motivos, recorrentemente apontados pela literatura, que explica essa aparente inconsistência, se refere ao fato de que mesmo em regiões onde se verifica algum cenário de restrição hídrica, em alguns casos os custos de produção dos bens e serviços intensivos em água são menores em relação às demais regiões, refletindo a estrutura de precificação desse recurso.

Diante das informações produzidas sobre os fluxos de Água Virtual, as Pegadas Hídricas das Bacias e os IEAs, a presente pesquisa propôs algumas aplicações das informações encontradas. Entre os seus principais resultados, destacam-se os seguintes: (i) as 9 Bacias cujos IEAs eram maiores ou iguais a 40% em 2009 permaneceram nessas condições nos cenários com mudanças climáticas e 5 Bacias adicionais passaram a apresentar esse indicador maior ou igual ao nível sustentável em pelo menos um dos cenários; (ii) tanto no cenário otimista quanto no pessimista, as mudanças climáticas têm o potencial de piorar o Balanço Hídrico de algumas Bacias localizadas no Nordeste, ao passo que podem melhorar esse indicador de algumas Bacias localizadas nas regiões Sudeste e Sul no longo prazo; e (iii) a adoção de tecnologias de produção mais eficientes no uso dos recursos hídricos podem melhorar significativamente os Balanços Hídricos das Bacias brasileiras.

Assim, frente às metodologias, base de dados e aplicações empregadas neste estudo, as principais contribuições desta pesquisa podem ser resumidas por: (i) a estimação de um sistema inter-regional de insumo-produto com recorte setorial e regional detalhado em termos das 56 Bacias Hidrográficas do PNRH; (ii) a análise sobre a estrutura econômica das Bacias e sobre a interdependência econômica entre elas; (iii) a construção de uma nova base de dados onde constam os coeficientes técnicos diretos de retirada, consumo e retorno de Água Azul, bem como as respectivas vazões, para os 50 setores das 56 Bacias estudadas; (iv) a estimação dos fluxos inter-regionais de Água Virtual entre as Bacias e o estudo sobre a interdependência hídrica entre elas; (v) o cálculo da Pegada Hídrica de cada um dos 50 setores das 56 Bacias estudadas; (vi) o cálculo dos IEAs de cada Bacia para o ano de 2006 e 2009, bem como os IEAs de acordo com cenários de mudanças climáticas; e (vii) a estimação dos efeitos do emprego de tecnologias de produção mais eficientes no uso dos recursos hídricos sobre os IEAs locais.

Adicionalmente, podem-se citar algumas contribuições possíveis a partir deste trabalho: (i) inserir o sistema inter-regional de insumo-produto estimado em um sistema mundial de insumo-produto, conforme sugerido por Lenzen et al. (2013). Desse modo, será possível acessar não somente o fluxo de Água Virtual entre as Bacias, mas também entre essas e os demais países. Assim, serão criadas condições para se estimar a Pegada Hídrica que

considere o consumo de Água Virtual embutido nas importações internacionais de bens e serviços; (ii) ainda que tenha sido privilegiado um recorte regional em termos de Bacias Hidrográficas, em alguns casos tratam-se de regiões bastante grandes do ponto de vista do gerenciamento dos recursos hídricos. A depender do interesse de pesquisa ou da política pública a ser avaliada, pode ser útil desagregar as regiões trabalhadas em Bacias menores; (iii) estimar as demandas futuras por água de cada Bacia estudada e verificar quais os seus impactos sobre os IEAs locais. Por sua vez, essa estimação pode ser realizada com base no modelo de Equilíbrio Geral; (iv) comparar a parcela da Pegada Hídrica Interna destinada à produção de bens e serviços e a destinada ao abastecimento público nas Bacias. Assim, será possível identificar em quais regiões existem ou podem existir conflitos diante do uso da água, de maneira que a utilização desse recurso possa ameaçar o seu abastecimento; e (v) produzir informações sobre o uso *per capita* de Água Azul por Bacia, identificando quais os principais setores econômicos responsáveis por esse resultado, assim como desagregar a demanda do Consumo das Famílias por esse recurso de acordo com as diferentes classes de renda. Assim, serão disponibilizadas informações detalhadas acerca do uso da água por parte do elemento da demanda final que mais contribuiu para o PIB no período.

Visto a grande dependência que a produção e o consumo têm em relação aos recursos hídricos, estudar sobre o uso desse bem a partir dos instrumentos da ciência econômica é um tópico de pesquisa que vem crescendo nos últimos anos. Este estudo, por sua vez, foi um dos primeiros na área a abordar esse tema especificadamente para o Brasil em um recorte regional definido em termos de Bacias Hidrográficas.

Assim, a partir dos resultados encontrados, verificou-se que o *status* de país abundante em recursos hídricos conferido ao Brasil, muitas vezes camufla realidades regionais que não condizem com essa condição. Nesse sentido, constataram-se que algumas Bacias delicadas do ponto de vista do Balanço Hídrico direcionaram parcela importante do volume de água captado para as exportações inter-regionais, os quais, em alguns casos, fizeram com os respectivos Balanços Hídricos excedessem o nível sustentável. Por sua vez, os efeitos desse padrão de utilização da água sobre as disponibilidades hídricas em algumas regiões podem se agravar com a iminência das mudanças climáticas.

Por fim, conclui-se que em algumas Bacias Hidrográficas as exportações inter-regionais de Água Virtual contrapõem o esperado do ponto de vista da segurança hídrica, o que não necessariamente contradiz as previsões da teoria do comércio de HO. Assim, onde se verificaram resultados controversos, demandam-se políticas públicas que

promovam uma economia sustentável em direção à utilização dos recursos hídricos escassos de maneira menos intensiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS⁶⁷

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009**. Brasília: ANA, 2009. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2009_rel.pdf>. Acesso em: out. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Nível 1 de Sub-bacias do Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: ANA, 2013a. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=f50527b9-24ed-41d5-b063-b5acfb25e10d>>. Acesso em: 28 jul. 2013.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2013**. Brasília: ANA, 2013b. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conj2013_rel.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – Informe 2015**. Brasília: ANA, 2015a. Disponível em: <http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_2015.pdf>. Acesso em: out. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Nota Técnica nº 56/2015/SPR**. Brasília: ANA, 2015b. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 30 set. 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Balanço hídrico quali-quantitativo**. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: 11 out. 2016a.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Levantamento da Agricultura Irrigada por Pivôs Centrais no Brasil – 2014: Relatório síntese**. Brasília: ANA, 2016b.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil – Informe 2016**. Brasília: ANA, 2016c.
- ALCAMO, J., HENRICHS, T., RÖSCH, T. **World Water in 2015: Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century**. Report A0002: Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Kassel, Germany, 2000.
- ALLAN, J. A. Fortunately there are substitutes for water: otherwise our hydro-political futures would be impossible. **Priorities for Water Resources Allocation and Management**. London, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NRB 6023**: Informação de documentação: Referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

⁶⁷ De acordo com a ABNT NBR 6023 (2002).

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial**. 9 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 24 jun. 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução n. 32, de 15 de outubro de 2003. Institui a Divisão Hidrográfica Nacional. **Diário Oficial da União**. Brasília: 17 dez. 2003.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products**. Value of water research report series of UNESCO-IHE, n.13. 2003.

CHAPAGAIN, A. K.; HOEKSTRA, A. Y. **Water Footprints of Nations**. v 1: Main report. UNESCO-IHE: 2004. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf>>. Acesso em: fev. 2015.

CHOU, S. C. et al. Simulações em alta resolução das mudanças climáticas sobre a América do Sul. In: TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. da. (Ed.). **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. Brasília: MCTI, 2016. cap. 1.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**. v. 5. Safra 2011-2012. Brasília. 2013.

COUTO, S. E. R. Criação e manejo de coelhos. In: ANDRADE, A.; PINTO, S. C.; OLIVEIRA, R. S. (Org.). **Animais de Laboratório: criação e experimentação**. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2002. 388 p. ISBN: 85-7541-015-6.

DIETZENBACHER, E.; VELÁZQUEZ, E. Analysing Andalusian Virtual Water Trade in an Input–Output Framework. **Regional Studies**, London, v. 41, n.2, p.185-196, 2007.

DUARTE, R.; YANG, H. Input-Output and Water: Introduction to the special issue. **Economic Systems Research**, v.23, n.4, p. 341-351, 2011.

EXIOPOL. Disponível em: <<http://www.feem-project.net/exiopol/index.php>>. Acesso em: out. 2016.

FUNDAÇÃO BANCO DO BRASIL; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; FUNDAÇÃO DE APOIO À UNIVERSIDADE DE VIÇOSA. **Relatório final dos coeficientes técnicos de recursos hídricos das atividades industrial e agricultura irrigada**. Relatório técnico n.6. Brasília, 2011.

FUNDAÇÃO DE ESTUDOS AGRÁRIOS LUIZ DE QUEIROZ. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Projeto de cooperação técnica IICA/BRA/08/002. Piracicaba, 2014.

FENG, K. et al. Comparison of bottom-up and top-down approaches to calculating the Water Footprint of Nations. **Economic Systems Research**. v. 23, n. 4, p. 341-447, 2011.

FENG, K. et al. Assessing regional Virtual Water flows and Water Footprints in the Yellow River Basin, China: a consumption based approach. **Applied Geography**. v. 32, p. 691-701, 2012.

GELAIN, J. G. **Volume de Água Virtual exportada pelo Brasil e por suas Unidades da Federação**. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2014.

GENTY, A.; ARTO, I.; NEUWAHL, F. **Final database of environmental satellite accounts: technical report on their compilation**. WIOD, 2012.

GROSSMAN, M.; KRUEGER, A. B. Economic growth and environment. **The Quarterly Journal of Economics**. v.110, n. 2, p. 352-377, 1995.

GUAN, D.; HUBACEK, K. Assessment of regional trade and virtual water flows in China. **Ecological Economics**. v. 61, n. 1, p.159-170, 2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.02.022>>. Acesso em: jun. 2016.

GUILHOTO, J. J. M.; ICHIHARA, S. M. Interdependência regional e os complexos da agropecuária e de óleo e gás na economia brasileira. In: Delfim Netto, A. (Coord.). **O Brasil do século XXI**. São Paulo: Saraiva, 2011. p. 261-288. v.1, cap. 21.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada**. v. 9. n. 2. p. 277-299, 2005.

GUILHOTO, J. J. M. et al. **Matriz de Insumo-Produto do Nordeste e Estados**: Metodologia e Resultados. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2010. ISBN: 978.85.7791.110.3.

GUILHOTO, J. J. M. et al. 2017. **Construção da Matriz Inter-regional de Insumo-produto para o Brasil: Uma aplicação do TUPI**. Texto para Discussão Nereus 03-2017. Disponível em: <<https://www.usp.br/nereus/?txtdiscussao=construcao-da-matriz-inter-regional-de-insumo-produto-para-o-brasil-uma-aplicacao-do-tupi>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

GUILHOTO, J.J. M.; SONIS, M.; HEWINGS, G. J. D. **Interdependence, linkages and multipliers in Asian: an international input-output analyses**. Discussion paper. 97-T-2. Regional Economics Applications Laboratory. Univesity of Illinois, 1997.

HOEKSTRA, A. Y. et al. **The Water Footprint Assessment Manual**: Setting the Global Standard. Publishing house: Earthscan, 2011.

HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P.Q. **Virtual water trade**: a quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of water research report series of UNESCO-IHE, n.11, 2002.

HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P.Q. Globalization of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. **Global Environmental Change**, v. 15, p. 45–56, 2005.

HOEKSTRA, A.Y.; MEKONNEN, M.M. The water footprint of humanity. **Proceedings of the National Academy of Science**, v. 109, n. 9, p. 3232-3237, 2012.

HOROCHOSKI, L.; WIECHETECK, G. K.; VAZ, M. S. M. G. Avaliação do Coeficiente de Retorno de Esgoto na Bacia Hidrográfica do Arroio Gertrudes – Ponta Grossa (PR). **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v.3, n.1, p. 59-68, 2011.

IMORI, D. **Brazilian regions in the global value chain: trade and the environment**. Tese (Doutorado em Ciências) – Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário 2006**. Brasil, grandes regiões e unidades de federação. Rio de Janeiro, 2009a. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso em: mar. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal 2009**. v. 37, 2009b. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2009_v37_br.pdf>. Acesso em: dez. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=245351>>. Acesso em: out. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas do Saneamento**. 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default_saneamento.sh>. Acesso em: out. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. v. 29, 2014. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/74/pevs_2014_v29.pdf>. Acesso em: dez. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Anual de Serviços**. v. 15, 2013. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/150/pas_2013_v15.pdf>. Acesso em: jun. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção da Pecuária Municipal – 2009**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2009/>>. Acesso em: abril, 2015a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Base Cartográfica Contínua do Brasil**. Escala: 1:1000000. Disponível em: <ftp://geofp.ibge.gov.br/mapeamento_sistemico/base_continua_ao_milionesimo/>. Acesso em: maio, 2015b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Disponível em:

<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/PIBMun/default.asp>>. Acesso em: 10 jun. 2016a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal**. 2006 e 2009. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/default.asp>>. Acesso em: out. 2016b.

IPEADATA. **Taxa de câmbio comercial para venda: real (R\$) / dólar americano (US\$) – média**. Disponível em: < <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>>. Acesso em: fev. 2017.

LENZEN, M. et al. International trade of scarce water. **Ecological Economics**, v. 94, n. 78-85, 2013.

LÓPES-MORALES, C. A.; DUCHIN, F. Economic implications of policy restrictions on water withdrawals from surface and underground sources. **Economic Systems Research**, v.27, n. 2, p. 154-171, 2015.

MAGRIN, G.O. et al. Central and South America. In: BARROS, V.R et al. (Ed.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014. p. 1499-1566, cap. 27.

MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. **The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products**. Value of Water Research Report Series No.48, UNESCO-IHE. Volume 2: Appendices, 2010.

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

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO. **3ª comunicação nacional do Brasil à convenção-quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima**. Sumário executivo e v. 2, 2016.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Séries históricas – Grupos de produtos: exportação**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/serie-s-historicas>>. Acesso em: 02 jun. 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno da Região Hidrográfica do Paraná**. Brasília: MMA, 2006a.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental**. Brasília: MMA, 2006b.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. Panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil. v. 1. Brasília: MMA, 2006c.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: síntese executiva**. Brasília: MMA, 2006d.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**. v. 1, 2, 3 e 4. Brasília: MMA, 2006e.

MOLDEN, D.; BOS, M.G. Improving basin water use in linked agricultural, ecological and urban systems: seeking new flow paths and avoiding dead ends. **Water Science & Technology**, v. 51, n. 8, p. 147–154, 2005.

NOBRE, P. et al. Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM) para cenários de mudanças climáticas globais. In: TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. da. (Ed.). **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. Brasília: MCTI, 2016. cap. 1.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD Science Technology and Industry Scoreboard**. 2003. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-industry-scoreboard-2003_sti_scoreboard-2003-en>. Acesso em: 05 jun. 2016.

OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO; CONSÓRCIO FAHMA/ DREER. **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. 2005.

PICOLI, I. T. **Pegada Hídrica da economia brasileira: uma análise de insumo-produto**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Econômico) – Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.

RIBEIRO NETO, A.; PAZ, A. R. da; SILVA, E. R. da. Impactos e vulnerabilidade do setor de recursos hídricos no Brasil às mudanças climáticas. In: TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. da. (Ed.). **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. Brasília: MCTI, 2016. cap. 5.

SCHLOSSER, C. A. et al. The future of global water stress: An integrated assessment. **Earth's Future**, v. 2, n. 8, p. 341-361, 2014.

SECRETARIA NACIONAL DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2009. Brasília: SNSA, 2011.

SILVA et al. Water Footprint and Virtual Water trade of Brazil. **Water**, v. 8, n. 11, 2016.

TEIXEIRA, B. S.; ORSINI, J. A. M.; CRUZ, M. R. da. (Ed.). **Modelagem Climática e Vulnerabilidades Setoriais à Mudança do Clima no Brasil**. Brasília: MCTI, 2016.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **An Overview of the State of the World's Fresh and Marine Waters**. Nairobi, 2a ed. 2008a. Disponível em: <<http://www.unep.org/dewa/vitalwater/article186.html>>. Acesso em: nov. 2015.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME et al. **Green Jobs**: Towards Decent Work in a Sustainable, Low-Carbon World. 2008b.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Towards to a green economy**:

pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication. Sustainable Development, 2011. ISBN: 978-92-807-3143-9.

USSAMI, K. A. **Interdependência regional no consumo direto e indireto de água nas UGRHs do estado de São Paulo**. Monografia (Bacharelado em Economia) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

WATER FOOTPRINT NETWORK. Disponível em: <<http://waterfootprint.org/en/>>. Acesso em: out. 2016.

WaterGap Model. Disponível em: <<http://www.watergap.de/>>. Acesso em: out. 2016.

WICHELS, D. The policy relevance of Virtual Water can be enhanced by considering comparative advantages. **Agricultural Water Management**, v. 66, p. 49-63, 2004.

WOOD, R. et al. Global sustainability accounting: developing EXIOBASE for multi-regional footprint analysis. **Sustainability**, v.7, 138-163, 2015.

WORLD BANK. **World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files**. Disponível em: <http://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.MKTP.CD/countries/US?order=wbapi_data_value_2009%20wbapi_data_value&sort=desc&page=1&display=default>. Acesso em: 30 maio, 2016.

ZIMMER, D.; RENAULT, D. Virtual water in food production and global trade: Review of methodological issues and preliminary results. In: HOEKSTRA, A.Y. (Ed.). **Virtual Water Trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade**. Value of Water Research Report Series, n. 12. UNESCO-IHE: Delft, The Netherlands, 2003.