**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Avaliação setorial do uso da água no Brasil: uma análise de equilíbrio geral
computável (CGE)**

Angel dos Santos Fachinelli Ferrarini

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

**Piracicaba
2017**

Angel dos Santos Fachinelli Ferrarini
Bacharel em Ciências Econômicas

**Avaliação setorial do uso da água no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável
(CGE)**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **JOAQUIM BENTO DE SOUZA FERREIRA FILHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em
Ciências. Área de concentração: Economia Aplicada

Piracicaba
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Ferrarini, Angel dos Santos Fachinelli

Avaliação setorial do uso da água no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável / Angel dos Santos Fachinelli Ferrarini - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2017.

156 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”.

1. Demanda hídrica 2. Áreas irrigadas 3. Equilíbrio geral 4. Plano de recursos hídricos I. Título

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Universidade de São Paulo (ESALQ-USP), pela disponibilidade na utilização dos espaços físicos, pela facilidade de interação entre os departamentos, pesquisadores, acessos aos materiais e todo o conjunto de oportunidades que a escola fornece aos estudantes.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo processo nº2015/20470-7 e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) que em momentos distintos financiaram essa pesquisa.

Aos professores do Departamento de Economia, Administração e Sociologia da ESALQ-USP, que contribuíram direta ou indiretamente para o aprendizado e a capacitação profissional e pessoal.

Ao professor Dr. José Antonio Frizzoni do Departamento de Engenharia de Biosistemas por toda a ajuda, conhecimentos, reflexões e paciência com os inúmeros questionamentos.

Ao pesquisador Rodrigo Maule do departamento de Solos da ESALQ/USP por todas as informações e dados do estudo sobre a Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil.

Agradecimentos aos pesquisadores Santiago Vianna Cuadra e Daniel de Castro Victoria da Embrapa Informática Agropecuária, por estimar os dados do Balanço Hídrico Climatológico para os estados do Nordeste.

Agradecimento especial ao professor Dr. Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho, pela orientação, dedicação e entusiasmo para que a pesquisa fosse direcionada para um projeto de vida, minha admiração e respeito.

Aos amigos da pós-graduação em economia aplicada: Mari, Mirian, Nataliya, Geraldo, Dienice e Alice. As amigas do pensionato (Larissa, Micheline, Valcides, Valiana, Ana Paula B, Mariane, Judith), que sempre vão estar em meu coração.

A minha mãe, Madalena, meu pai Aurélio Fachinelli (*in memorian*) irmão Marcus e cunhada Jaqueline. Todo esforço para chegar até aqui sempre foi pautado na base familiar. Aos meus sogros Marinês e José, pelo apoio que foi essencial para a manutenção dessa caminhada.

Ao meu querido marido Alexandre Ferrarini pela força, companheirismo, incentivo em todos os momentos difíceis e a dedicação sem limites para tornar esse sonho realidade.

SUMARIO

RESUMO	5
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	8
LISTA DE TABELAS	9
1. INTRODUÇÃO	11
1.1. CONTEXTO E PROBLEMATIZAÇÃO DA PESQUISA	11
1.2. OBJETIVO GERAL E ESPECÍFICOS.....	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. LEGISLAÇÃO E DIRETRIZES PARA A GESTÃO DE RECURSO HÍDRICOS	15
2.1.1. Legislação nacional.....	15
2.1.2. Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).....	17
2.1.3. Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil	26
2.2. DISPONIBILIDADE HÍDRICA E ESCASSEZ.....	29
2.2.1. Disponibilidade Hídrica no Brasil.....	29
2.2.2. Características físico e climáticas do Nordeste do Brasil	33
2.3. CARACTERIZAÇÃO SETORIAL PARA O USO DA ÁGUA.....	42
2.3.1. Tipos de uso da água e finalidades.....	42
2.3.2. Uso da água na agropecuária e a evolução de áreas irrigadas por região	43
2.3.3. Uso da água na indústria brasileira	53
2.3.4. Uso da água no comércio, serviços e domicílios	55
2.4. MODELOS COMPUTÁVEIS DE EQUILÍBRIO GERAL APLICADOS AOS RECURSOS HÍDRICOS	58
3. METODOLOGIA TERM-BR	63
3.1. MÓDULO DE ÁGUA FORMULADO PARA O TERM-BR.....	69
4. BASE DE DADOS	73
4.1. DEMANDA	73
4.1.1. Matriz de uso da água na Indústria	73
4.1.2. Matriz de uso da água na Agricultura e Pecuária.....	75
4.1.3. Matriz de uso da água para a demanda doméstica, comércio e serviços	78
4.1.4. Matriz de produtividade diferencial entre culturas irrigadas e não irrigadas.....	83
4.1.5. Atualização da base de dados de áreas irrigadas por região 2005-2012.....	84
4.2. OFERTA	87
5. SIMULAÇÕES	89
5.1. FECHAMENTO MACROECONÔMICO E DE POLÍTICA	89
5.2. BASE E CENÁRIOS	90
6. ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	93
6.1. RESULTADOS PARA O BRASIL E REGIÕES: EVOLUÇÃO NA DEMANDA DE ÁGUA.....	93
6.2. RESULTADOS PARA O NORDESTE DO BRASIL	106
6.2.1. Demanda para o uso de água.....	106
6.2.2. Disponibilidade hídrica	109
6.2.3. Comparativo entre o excedente hídrico e a demanda estadual	112
7. CONCLUSÕES	119

REFERÊNCIAS	123
APÊNDICES	139

RESUMO

Avaliação setorial do uso da água no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável (CGE)

Esta tese teve por objetivo verificar como expansões de área irrigada no país aumentariam o uso de água regional. Para isso, os cenários descritos no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) foram utilizados como política de expansão para a irrigação no país. Os cenários descritos são cenário 1 (água para todos), cenário 2 (água para alguns) e cenário 3 (água para poucos), e são situações hipotéticas reportadas pelo plano. Estes cenários foram adaptados com as informações de áreas potencialmente irrigáveis descritas no estudo do Ministério da Integração Nacional (MI) sobre a Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada. Para tal, utilizou-se um modelo computável de equilíbrio geral denominado TERM-BR, um modelo dinâmico, *bottom-up*, inter-regional para as simulações dos cenários de demanda futura para o uso da água. O método de Thorntwaite e Mather foi utilizado para estimar o balanço hídrico climatológico (CWB) para os estados do Nordeste e com isso avaliar a situação da disponibilidade hídrica em condições determinadas nessa região. Diversos trabalhos foram utilizados na elaboração da base de dados com informações municipais (agricultura e consumo humano) e informações estaduais (pecuária e indústria), produtividade das culturas, áreas plantadas e colhidas também foram utilizadas. Os resultados simulados sugerem que as expansões de área irrigada proporcionariam mudanças positivas nas variáveis macroeconômicas como consumo das famílias, investimento, gastos do governo, exportações, PIB para o país. Em relação as variáveis macroeconômicas regionais, o estado do Mato Grosso se destacaria em todos os cenários e apresentaria uma mudança no PIB e investimento maior no cenário 1. Expansões de área irrigada na região Centro-Oeste e Norte são viáveis em todos os cenários, especialmente nos estados do Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Pará e Minas Gerais na região Sudeste. A maior mudança percentual no uso da água ocorreria na soja e no algodão e o maior volume de uso de água (milhões de metros cúbicos) ocorreria na cultura da cana de açúcar e no arroz. Os resultados da interação entre o modelo TERM-BR e o método de CWB para os estados do Nordeste indicam que os estados de Alagoas e Pernambuco seriam os mais propensos a ter problemas com a disponibilidade hídrica. O aumento no uso de água por região hidrográfica é condizente com o proposto no PNRH e esse aumento deveria ser maior nas regiões hidrográficas do Tocantins-Araguaia (Tocantins, Pará, Mato Grosso e Goiás) e no Atlântico Nordeste Ocidental nos estados do Maranhão e Pará.

Palavras-chave: Demanda hídrica; Equilíbrio geral; PNRH; Agricultura irrigada; Balanço hídrico climatológico

ABSTRACT

Sectoral evaluation of water use in Brazil: a computable general equilibrium analysis (CGE)

This dissertation aimed to verify how expansions of irrigated area in the country would increase the regional water use. For this, the scenarios described in the National Water Resources Plan (PNRH in Portuguese) were used as policy for expansion of irrigation in the country. The scenarios related are scenario 1 (water for all), scenario 2 (water for some) and scenario 3 (water for few), and are hypothetical situations reported by the plan. These scenarios were adapted with the information about irrigable areas described by Ministry of National Integration (MI) on the Territorial Analysis for the Development of Irrigated Agriculture. A computable general equilibrium model namely TERM-BR was used in the simulation, this is dynamic, bottom-up, interregional model for simulations of scenarios for water. The Thornthwaite and Mather method was employed to estimate the Climatic Water Balance (CWB) for Northeastern states and to assess the water availability situation under specific conditions in that region. Several studies were compiled to elaborate the database; some with municipal information (agriculture and human consumption) and others with state information (livestock and industry). Crop productivity, and planted and harvested areas were also used. The results suggest that the expansions in the national irrigated areas would provide positive changes in macroeconomic variables such as household consumption, investment, government spending, exports, and national GDP. Mato Grosso state would stand out in all the scenarios regarding regional macroeconomic variables, and change in regional GDP and investment would be greater in scenario 1. Expansions in the Center-West and North regions are feasible in all scenarios, especially in Mato Grosso, Goiás, Tocantins, Pará and Minas Gerais state. The highest percentage change in water use would occur in soybeans and cotton crops and the largest volume of water use (millions of cubic meters) would occur in sugar cane and rice crop. The results for the interaction between the TERM-BR model and CWB method for the Northeastern states indicate that, Alagoas and Pernambuco state would be the most likely to have problems with water availability. The increase in water use by hydrographic region is consistent with that proposed in the PNRH, and this increase should be higher in the Tocantins-Araguaia hydrographic regions (Tocantins, Pará, Mato Grosso and Goiás) and in the Western Northeast Atlantic in Maranhão and Pará state.

Keywords: Water demand; General equilibrium; PNRH; Irrigated agriculture; Climatic water balance

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. NÍVEIS DE AGREGAÇÃO DE INFORMAÇÕES DO PNRH, (A) BRASIL, (B) DIVISÃO HIDROGRÁFICA NACIONAL (SUB-1), (C) 56 UNIDADES DE PLANEJAMENTO.....	19
FIGURA 2. EVOLUÇÃO HISTÓRICA DO PNRH E SEUS ADITIVOS	22
FIGURA 3. REGIÕES HIDROGRÁFICAS NO BRASIL.....	30
FIGURA 4. ÁREA IRRIGADA EM RELAÇÃO A ÁREA PLANTADA POR ESTADO E REGIÃO, SEGUNDO O CENSO AGROPECUÁRIO DE 2006.	48
FIGURA 5. RELAÇÃO ENTRE A ÁREA IRRIGADA E ÁREA PLANTADA OU COLHIDA SEGUNDO O CENSO AGROPECUÁRIO DE 2006.....	50
FIGURA 6. ÁREA DOS ESTABELECIMENTOS AGROPECUÁRIOS COM USO DE IRRIGAÇÃO (HECTARES), 2006.	51
FIGURA 7. ESQUEMA DE PRODUÇÃO QUE A FIRMA PODE PRODUIR.	66
FIGURA 8. ESTRUTURA DE PRODUÇÃO NO MODELO TERM-BR.....	67
FIGURA 9. ESTRUTURA DE DEMANDA DAS FAMÍLIAS.....	68
FIGURA 10. DIAGRAMA DE PASSOS PARA O CÁLCULO DO USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA IRRIGADA CALIBRADO AO MODELO TERM-BR	76
FIGURA 11. DIAGRAMA SIMPLIFICADO DA ADAPTAÇÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA NA ESTIMATIVA DAS VAZÕES, RETORNO E CONSUMO DE ÁGUA POPULACIONAL.	79
FIGURA 12. A: ESTADOS DO NORDESTE DESTACADOS NO MAPA DO BRASIL; B) CRUZAMENTO ENTRE AS OTTOBACIAS DE NÍVEL 2 COM OS ESTADOS	88
FONTE: ILUSTRAÇÃO DOS DADOS ESTIMADOS PARA O CWB.	88
FIGURA 13. DIFERENÇA COMPARATIVA ENTRE BASE E POLÍTICA.....	90
FIGURA 14. RESULTADO ACUMULADO PARA AS EXPANSÕES DE ÁREA IRRIGADA NOS TRÊS CENÁRIOS NAS REGIÕES PARA 2025.	93
FIGURA 15. RESULTADO DAS SIMULAÇÕES NA VARIAÇÃO DO PIB REAL REGIONAL NOS CEN 1,2 E 3 E RESULTADO PARA OS GASTOS REAIS DAS FAMÍLIAS NO CEN 1.	96
FIGURA 16. CRESCIMENTO NACIONAL DO USO DA ÁGUA EM PERCENTUAL % PARA OS TRÊS CENÁRIOS.	97
FIGURA 17. FLUXOGRAMA DAS BACIAS PARA OS ESTADOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.	111

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. CENÁRIOS DESCRITOS EM PNRH 2006.....	20
TABELA 2. INCREMENTO DE ÁREA IRRIGADA POR REGIÃO HIDROGRÁFICA EM CADA CENÁRIO.	25
TABELA 3. COMBINAÇÃO DE CHAVE FÍSICA COM CHAVE DE PRIORIDADE.....	28
TABELA 4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA POR REGIÃO HIDROGRÁFICA COM VAZÃO DE PERMANÊNCIA DE 95%.....	31
TABELA 5. CARACTERÍSTICAS REGIONAIS QUANTO A POPULAÇÃO, ABASTECIMENTO E PREVISÃO DE DEMANDA.....	36
TABELA 6. CARACTERÍSTICAS DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS QUE ABASTECEM A REGIÃO NORDESTE.....	40
TABELA 7. CONFLITOS PELO USO DA ÁGUA NOS ESTADOS DO NORDESTE DO BRASIL ENTRE 2006 E 2015.	41
TABELA 8. CLASSIFICAÇÃO DO USO DA ÁGUA POR FINALIDADE E POSSÍVEIS USOS.....	42
TABELA 9. PARTICIPAÇÃO REGIONAL NA PRODUÇÃO DAS PRINCIPAIS CULTURAS SEGUNDO DADOS DA FIESP (2015).	44
TABELA 10. ÁREAS IRRIGADAS POR GRANDE REGIÃO EM HECTARES E VARIAÇÃO PERCENTUAL COMPARATIVA AO ANO DE 1985.....	45
TABELA 11. CRESCIMENTO EM HECTARES IRRIGADAS NOS ESTADOS DA REGIÃO NORDESTE DO BRASIL.....	46
TABELA 12. USOS DA ÁGUA NAS DIVERSAS PLANTAS INDUSTRIAIS EM PERCENTUAL.	54
TABELA 13. PRINCIPAIS CONJUNTOS DO MODELO TERM-BR.	65
TABELA 14. REGIÕES AGREGADAS NO MODELO TERM-BR.....	69
TABELA 15. MATRIZ REGIONAL DE USO DE ÁGUA PRODUTO X ATIVIDADE.....	70
TABELA 16. MATRIZ DE RECURSOS HÍDRICOS PARA O BRASIL E PARA O SETOR 0101 – AGRICULTURA, SILVICULTURA E EXPLORAÇÃO FLORESTAL EM MILHÕES DE M³/ANO.....	77
TABELA 17. MATRIZ DE RETIRADA, CONSUMO E RETORNO NA ATIVIDADE DE PECUÁRIA E PESCA.	78
TABELA 18. VALOR DISTRIBUÍDO POR FAIXA POPULACIONAL NOS ESTADOS, PONDERADOS PELAS MÉDIAS.	80
TABELA 19. MATRIZ DE USO PARA AS ATIVIDADES DE SERVIÇOS E DEMANDA DAS FAMÍLIAS POR UF.....	82
TABELA 20. MAIORES ÁREAS IRRIGADAS POR CULTURAS NO BRASIL NO ANO DE 2006.	85
TABELA 21. ÁREA IRRIGADA, ÁREA PLANTADA E AS MAIORES RELAÇÕES PERCENTUAIS POR FONTE DE PESQUISA.....	85
TABELA 22. RELAÇÃO PERCENTUAL ENTRE OS HECTARES SIMULADOS POR REGIÃO E A ÁREA POTENCIAL IRRIGÁVEL DESCRITA EM MIIP.....	91
TABELA 23. RESULTADO DO MODELO, EFEITOS NOS AGREGADOS MACROECONÔMICOS COMO DESVIO DE POLÍTICA (CEN1, CEN2, CEN3).....	95
TABELA 24. MUDANÇA NO USO DA ÁGUA EM MILHÕES DE M³ DE ÁGUA E % PARA OS USUÁRIOS DA AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL EM CEN 1, CEN 2 E CEN 3.	98
TABELA 25. MUDANÇA PERCENTUAL ACUMULADA NO USO DA ÁGUA POR REGIÃO COMO RESULTADO DAS POLÍTICAS DO CEN 1, CEN2 E CEN3 E OS RESPECTIVOS HECTARES IRRIGADOS POR REGIÃO.	99

TABELA 26. RESULTADO DA MUDANÇA ACUMULADA EM 2025 NO USO DA ÁGUA, POR CULTURA E REGIÃO, EM CEN1 EM MILHÕES DE M ³	100
TABELA 27. MUDANÇA ACUMULADA NO USO DA ÁGUA POR CULTURA E REGIÃO COMO RESULTADO DE CEN1 EM MILHÕES DE M ³	102
TABELA 28. RESULTADO DA MUDANÇA NO USO DA ÁGUA (% E MILHÕES DE M ³) NO CEN 1, CEN 2 E CEN 3 PARA OS USUÁRIOS DA PECUÁRIA NO BRASIL EM 2025.	103
TABELA 29. RESULTADO NA MUDANÇA NO USO DA ÁGUA (% E MM ³) PARA OS USUÁRIOS DA INDÚSTRIA NO BRASIL NO CEN 1, CEN E CEN3.	104
TABELA 30. RESULTADO NA MUDANÇA NO USO DA ÁGUA (% E MM ³) ACUMULADO PARA 2025 PARA OS USUÁRIOS DOS SETORES DE SERVIÇOS E CONSUMO DAS FAMÍLIAS NO BRASIL, NO CEN 1, CEN E CEN3.	105
TABELA 31. MUDANÇA NAS ÁREAS IRRIGADAS (EM HECTARES) COMO RESULTADO DA POLÍTICA DE CEN 1 ACUMULADO PARA 2025.	107
TABELA 32. RESULTADO DA MUDANÇA NO USO DE ÁGUA EM CEN 1 ACUMULADO PARA 2025 EM MILHÕES DE M ³	108
TABELA 33. RESULTADO DO CONSUMO DE ÁGUA ESTIMADO NAS BACIAS QUE ABASTEM OS ESTADOS DO NORDESTE, EM 2005 E 2025 EM M ³	113
TABELA 34. DISPONIBILIDADE HÍDRICA E DEMANDA HÍDRICA PARA OS ESTADOS DO NORDESTE EM 2005 E 2025 (CEN 1).	116
TABELA 35. USO DE ÁGUA DISTRIBUÍDO PARA AS REGIÕES HIDROGRÁFICAS DE ANÁLISE, EM 2005 E 2025.	117

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contexto e problematização da pesquisa

A água é um recurso natural e finito, insubstituível à vida e dotado de valor econômico, promove o desenvolvimento social e econômico nas regiões e a garantia do uso adequado é motivo de discussões mundo a fora. A conferência internacional sobre água e meio ambiente em Dublin (*International conference on water and the environment*) (ICWE, 1992) enfatizou que ações são necessárias para redirecionar o uso dos recursos em uma direção sustentável. Nesse sentido, a Agenda 21 dedicou um capítulo¹ para esse aspecto com o objetivo de assegurar uma oferta adequada de água de boa qualidade para toda a população do planeta (Eco92, 1992).

Em termos globais, o Brasil apresenta uma situação confortável quanto aos recursos hídricos. Entretanto, a distribuição espacial é desigual, cerca de 80% de sua disponibilidade hídrica está concentrada na região da bacia Amazônica, onde se encontra o menor contingente populacional e valores reduzidos de demandas consuntivas (ANA, 2013). Dos atuais 5.565 municípios brasileiros, cerca de 55% poderão ter déficit no abastecimento de água nos próximos anos e requerem algum tipo de investimento (ampliação dos sistemas, novos mananciais, entre outros), o que segundo a Agência Nacional das Águas (ANA) custaria em torno de R\$ 22.233 milhões de reais para melhorias no abastecimento de água (ANA, 2010a).

A gestão dos recursos hídricos busca soluções que amenizem problemas decorrentes do uso intensivo ou irracional da água para assegurar a oferta dos recursos hídricos, em quantidade e qualidade, ao longo das gerações. Discussões sobre o consumo de água e a disponibilidade hídrica tem envolvido profissionais de diversas áreas dada a preocupação com o meio ambiente e o futuro. Com a implantação da legislação de Recursos Hídricos, Lei Federal 9.433/97 (BRASIL, 1997), a participação da sociedade tornou-se mais ativa aos direitos de uso para todas as gerações.

Assim, o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) aprovado pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é o principal ferramental para fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recurso Hídricos e a atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (SINGREH), que deve ser realizada de forma descentralizada e participativa (MMA, 2006b).

¹ Capítulo 18, dedicado integralmente a sustentabilidade dos recursos hídricos, manejo e reuso. A Agenda 21 é um documento “instrumento de planejamento participativo visando o desenvolvimento sustentável”. <http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>

Entre os tipos de usuários da água, a agricultura irrigada no Brasil é considerada a de maior uso, é a principal atividade como meio de subsistência e emprego direto e indireto para a população e contribui consideravelmente para a expansão do PIB nacional. Porém, no Brasil a cobrança pelo uso da água na agricultura irrigada é incipiente e os dados de uso não são reportados nos relatórios de contabilidade nacional, o que dificulta a análise dos recursos hídricos com modelos econômicos.

A atividade da agricultura irrigada vem crescendo constantemente nos últimos 30 anos no Brasil. O Censo Agropecuário Brasileiro registrou um total de 1.959.810 hectares irrigados em 1985 e 4.545.532 hectares em 2006, um aumento de 132% no período. As estimativas da Agência Nacional de Águas relatam um aumento de 46% entre 2006 e 2012, aproximadamente 5,8 milhões de hectares naquele ano (ANA, 2013).

Embora o avanço nas áreas irrigadas seja importante para a geração de renda e crescimento na produção de alimentos, o impacto sobre os recursos hídricos regionais tem suscitado conflitos em algumas regiões do Brasil. Os relatórios da Comissão Pastoral da Terra (CPT) mostram que em 2013 foram registrados 93 conflitos pelo uso da água no país, 37 conflitos estavam na região Nordeste. Em 2015 os conflitos pelo uso da água atingiram o total de 135 no país e 46 no Nordeste (CPT, 2015).

Além das expansões de áreas irrigadas nas últimas décadas, reduções no volume de precipitação em relação à média histórica também são observadas no país, especialmente nas regiões Nordeste e Sudeste (ANA, 2010b, ANA, 2015). A região Nordeste apresenta cerca de 89% da extensão territorial situada na região semiárida do país e constantemente enfrenta problemas de secas e baixo desenvolvimento regional, possui muitos rios classificados em situação crítica devido à baixa disponibilidade hídrica (ANA, 2014), o que a torna alvo de uma série de estudos regionais para a formulação de políticas públicas.

A literatura relacionada à seca e a vulnerabilidade climática no Nordeste é vasta, em especial para a região do semiárido, foco de inúmeros estudos socioeconômicos e biofísicos (Nelson e Finan, 2009). No entanto, as políticas adotadas sugerem a existência de limitações quanto as análises para o longo prazo, sendo que a vulnerabilidade quanto à seca permanece.

Em termos de crescimento demográfico, Bruinsma (2009) descreveu um cenário em que o crescimento esperado populacional mundial para 2030 acarretará em um aumento na demanda por alimentos em cerca de 50%. Carmo et al. (2014) destacou a correlação existente na transição do consumo que ocorre entre a melhoria da situação econômica das pessoas que se reflete em um aumento no consumo de água, que pode ocorrer tanto pela expansão do sistema de abastecimento nas áreas urbanas quanto pelo aumento de renda da população.

Sendo assim, o consumo de água futuro envolve questionamentos quanto à disponibilidade de água regional e como alterações marginais no progresso tecnológico (agricultura irrigada, por exemplo), implicariam no gerenciamento dos recursos hídricos. A necessidade de ampliação dos estudos setoriais e regionais acerca da utilização desagregada do consumo de água tornou-se indispensável para saber até onde é possível manter o crescimento das atividades produtivas nos diversos setores da economia e ainda satisfazer as demandas crescentes da população sem prejudicar a sustentabilidade dos recursos hídricos.

Dada a relevância do tema, o presente estudo tem por objetivo analisar a demanda setorial e regional do uso de água no Brasil. O modelo TERM-BR é utilizado para realizar simulações dos cenários de expansão da irrigação propostos pelo Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) descrito em MMA (2006b) com base nas áreas potencialmente irrigáveis reportadas por MI (2014a). Para destacar as eventuais restrições no abastecimento de água a nível estadual estimou-se o balanço hídrico climatológico (CWB) para os estados do Nordeste do Brasil com objetivo de comparar este aos resultados simulados pelo modelo TERM-BR. Com isso, o impacto das expansões de área irrigada na demanda hídrica setorial e regional no Brasil foram simulados para 2025.

Nesse sentido, o presente estudo avança ao abordar o problema através de um modelo CGE dinâmico do tipo *bottom-up* para o Brasil e regiões utilizando dados de consumo de água em milhões de metros cúbicos (m^3) elaborados ao nível de produto e setor. O estudo também avança ao desenvolver e incorporar as equações inerentes ao uso de água no modelo TERM-BR com diferencial de produtividade entre a agricultura irrigada e a agricultura de sequeiro.

Assim, buscou-se contribuir nos seguintes aspectos. Primeiro, na elaboração e agregação de dados para a matriz de demanda de água por atividade e por região em uma perspectiva inter-regional integrada. Segundo, até onde sabemos, é a primeira vez que os cenários do PNRH em MMA (2006b) são simulados em um quadro econômico-ambiental integrado e a primeira vez que tal abordagem é realizada no país com a utilização de um modelo CGE para dados em m^3 /ano. Terceiro, é inédita a comparação dos resultados da demanda de água (consumo por tipo de usuário) com a disponibilidade hídrica de águas superficiais estimada para os estados do Nordeste.

A tese está estruturada em sete seções, sendo essa introdução e subseções o primeiro. A segunda seção remete a revisão bibliográfica para o PNRH, para a análise territorial para a agricultura irrigada, a disponibilidade hídrica no Brasil, as características físicas e climáticas para a região Nordeste, os tipos de uso da água consuntivos e a relação de estudos computáveis aplicados aos recursos hídricos no Brasil e no mundo. A terceira seção é dedicado à metodologia

TERM-BR. A quarta seção descreve a base de dados para a demanda e a disponibilidade. A quinta seção destaca os cenários utilizados nas simulações propostas e o fechamento macroeconômico do modelo. A sexta seção apresenta os resultados regionais para a demanda hídrica projetada e os resultados da comparação entre demanda e oferta estimadas para os estados do Nordeste. A sétima seção contém as considerações finais e gerais do estudo e as propostas para avanço nas discussões.

1.2. Objetivo Geral e Específicos

O objetivo principal dessa pesquisa foi analisar o impacto das expansões da agricultura irrigada regional sobre o uso de água setorial e enfatizar os resultados para os estados do Nordeste do Brasil. Para tal, se fez uso de um modelo computacional de equilíbrio geral dinâmico denominado TERM-BR. As análises comparativas de uso da água e oferta hídrica são avaliadas para os estados do Nordeste. O modelo TERM-BR foi desagregado e comparado com as estimativas do balanço hídrico climatológico (CWB) de Thornthwaite e Mather (1955) ajustado. As projeções têm como base o cenário e a metodologia descrita no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH). Os objetivos específicos do estudo foram:

- Elaborar as matrizes de demanda de água em unidades físicas (m^3/ano) e sua compatibilização com a Matriz de Insumo-Produto do Brasil.
- Adicionar ao modelo TERM-BR as equações necessárias para a modelagem do uso de recursos hídricos com foco na agricultura irrigada e calibrar tais informações para a realidade brasileira;
- Simular os três cenários de expansão de área irrigada com base no PNRH;
- Comparar o resultado do uso da água com os dados de disponibilidade hídrica para os estados da região Nordeste com dados de excedente hídrico das bacias hidrográficas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica inclui quatro subseções específicas. A primeira apresenta um breve panorama da legislação brasileira sobre os recursos hídricos, descreve o PNRH e seus aditivos e apresenta o estudo sobre o potencial de áreas irrigáveis do país. A subseção seguinte apresenta as principais informações sobre a disponibilidade hídrica no país e amplia a discussão para os estados do Nordeste, relatando as diversidades climáticas regionais que impactam nos estudos de disponibilidade hídrica.

A terceira subseção separa os usos consuntivos da água dos não consuntivos, demonstra a diferença nestes e apresenta de modo setorial como a água é utilizada no Brasil por grupos macroeconômicos, fornece as informações setoriais necessárias para a avaliação dos dados utilizados na pesquisa e a comparação com os resultados projetados. A quarta subseção é uma explanação geral dos principais estudos computáveis de equilíbrio geral utilizados no mundo para avaliar os impactos regionais e globais no uso da água.

2.1. Legislação e Diretrizes Para a Gestão de Recurso Hídricos

2.1.1. Legislação nacional

Desde a década de 30, o Brasil dispõe do código de águas, decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, um avanço para a época por abordar a aplicação de penalidades, aproveitamento de águas, navegação, entre outros (MMA, 2006b). Porém, com o aumento das demandas pelo uso das águas e com as mudanças nos padrões de consumo, incorporação de novas técnicas de irrigação e mudanças institucionais, conflitos e problemas de escassez hídrica regional tornaram-se mais evidentes ao longo das décadas.

A partir do código das águas outros decretos reguladores tiveram origem, como o decreto nº 13 de 1935 que organizou os registros de aproveitamento de energia hidráulica. Em, 1939, através do decreto-lei 1.699 foi criado o Conselho Nacional de Águas, cuja a competência se restringia a energia elétrica. Dada a diversidade de problemas relacionados ao uso indevido da água, em 1976, um acordo entre o Ministério das Minas e Energia e o governo de São Paulo para a melhoria das condições sanitárias das bacias do Alto Tietê e Cubatão (ABAS, 2015) foi elaborado.

Em seguida, em 1978, o Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH) foi criado, e na sequência novos comitês em diversas bacias

hidrográficas (Parnaíba do Sul, São Francisco) foram sendo criados. Os comitês são organismos colegiados que fazem parte atualmente do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH). Segundo Porto e Porto (2008), as obrigações desses comitês estavam relacionadas as atribuições consultivas, desobrigando a implantação de suas decisões. Porém, constituíram-se nas primeiras experiências para a elaboração futura da gestão das bacias hidrográficas.

Em 1996 foi criado pelo Governo Federal o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), no âmbito do programa de modernização do setor de saneamento (PMSS). O SNIS tem como objetivos o planejamento e execução de políticas públicas de saneamento, orientação da aplicação dos recursos, conhecimento e avaliação do setor de saneamento (SNIS, 2007).

Em 8 de janeiro de 1997 foi sancionada a Lei nº 9.433 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabeleceu o SINGREH. Esta política tem como fundamentos que a água é um bem de domínio público, recurso natural limitado, dotado de valor econômico e em situação de escassez o uso prioritário dos recursos é o consumo humano e a dessedentação de animais (BRASIL, 1997).

Em 17 de julho de 2000 a lei nº 9.984 criou a Agência Nacional de Águas –ANA, entidade federal encarregada da implementação dessa política e a coordenação do sistema, faz a concessão e fiscalização dos usos das águas de domínio da união, com a implementação, fomento e monitoramento da PNRH (BRASIL, 2000).

A lei nº 12.787 de 11 de janeiro de 2013 dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação, na qual o agricultor irrigante tem entre cinco princípios, o uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados a irrigação, e entre os objetivos, a política nacional de irrigação visa o incentivo a aplicação da área irrigada e o aumento da produtividade em bases ambientalmente sustentáveis (Brasil, 2013). Desse modo, projetos públicos e privados de irrigação podem receber incentivos fiscais.

Os padrões de qualidade da água para consumo humanos estão definidos na portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (Brasil, 2011). Nos últimos anos algumas leis específicas vêm sendo normatizadas para cidades, ramos de atividades específicos que incorporem o reuso da água nos processos produtivos como a lei nº 10.785 de 18 de setembro de 2003, que instituiu o PURAE – Programa de Conservação e Uso Racional da Água

nas Edificações²) e a lei nº 16.174 de 22 de abril de 2015, que estabeleceu que a prefeitura do município de São Paulo adotaria, preferencialmente, a água de reuso, descrito em Brasil (2015a).

Em termos de legislação, o Brasil tem avançado nas discussões para assegurar a sustentabilidade dos recursos hídricos fornecendo uma maior regulamentação e fiscalização quanto ao uso dos recursos ambientais. O PNRH descrito em MMA (2006b) está incluído entre os instrumentos da política nacional de recursos hídricos, instituída pela lei nº 9.433 e a sua estruturação incorporou, em especial, os atributos relacionados aos artigos 7º e 8º dessa lei, quanto a perspectiva de longo prazo para o crescimento demográfico e evolução das atividades produtivas, modificações dos padrões de ocupação do solo, balanço de disponibilidades e demandas futuras. As diretrizes e critérios são detalhados a seguir.

2.1.2. Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)

O PNRH é um dos instrumentos que orienta o desafio de melhorar a gestão das águas no Brasil. O objetivo geral do PNRH é estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, gerenciando as demandas e considerando a água como um elemento estruturante para a implementação das políticas setoriais sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social (MMA, 2006b).

O PNRH configura-se como o conjunto estratégico de ações e relações interinstitucionais, instrumentos de política, informações e ferramentais de apoio à decisão. Assim, o PNRH possui como objetivos estratégicos: (i) a melhoria das disponibilidades hídricas; (ii) a redução dos conflitos pelo uso da água e dos eventos hidrológicos críticos e (iii) a valorização da água como um bem socioambiental relevante (MMA, 2006b)

O planejamento estratégico do plano constituiu o período de 2005-2020 e estabeleceu metas, diretrizes e programas que buscassem assegurar às atuais e futuras gerações a disponibilidade de água necessária. Dada a natureza do PNRH, coube à Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio ambiente (SRHU/MMA) a coordenação e o acompanhamento de sua implementação e ao Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) acompanhar a

² O programa prevê a adoção de medidas que visam induzir a conservação da água através do uso racional, e de fontes alternativas de abastecimento de água nas novas edificações (BRASIL, 2003b).

execução e aprovar as resoluções do PNRH³ e articular o PNRH com os demais níveis de planejamento. A execução das metas é de competência do SINGREH e a ANA coube a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, além de auxiliar na elaboração dos cadernos setoriais e demais aditivos de sua competência (MMA, 2006b).

O PNRH encontra-se inserido no Plano Plurianual Governamental (PPA) 2004-2007 e com a atribuição de acompanhar, analisar e emitir parecer sobre o PNRH, a câmara técnica do plano criou o grupo técnico de coordenação e elaboração do Plano (GTCE/PNRH) composto pela Secretaria de Recursos Hídricos – SRH/MMA e pela Agência Nacional de Águas – ANA. O GTCE/PNRH configura-se, portanto, como o núcleo executor do PNRH, assumindo a função de suporte à sua execução técnica (MMA, 2006b; MMA, 2006d).

A gestão de recursos hídricos tem por base o recorte territorial das bacias hidrográficas. Assim, o PNRH além de considerar as 12 regiões hidrográficas desagregadas em 56 unidades de planejamento, considera a regionalização em Situações Especiais de Planejamento (SEP), que constituem espaços territoriais, sejam do meio natural ou do processo de uso e ocupação (MMA, 2006b). Com isso, o plano considerou a diversidade física, biótica, socioeconômica e cultural das regiões hidrográficas brasileiras com integrações regionais e nacional cuja desagregação é ilustrada na figura 1.

Por ter sido instituído após a formulação e promulgação das Políticas Agrícola⁴ e de Irrigação⁵, a Política Nacional de Recursos Hídricos⁶ não é abordada, especificamente, em nenhuma das políticas deste setor usuário (MMA, 2006b). Porém, as políticas anteriores (Agrícola e Irrigação) já ressaltavam a necessidade de conservação e recuperação dos recursos naturais e de irrigação e drenagem, o que permitiu a integração entre as políticas e a formulação do PNRH.

³ Todas as leis e decretos inerentes aos Recursos Hídricos estão disponíveis para consulta em MMA (2014). Neste documento está incluído as resoluções que regulamentam o PNRH e os aditivos.

⁴ Lei no 8.171, de 17 de janeiro de 1991.

⁵ Lei no 6.662, de 25 de junho de 1979. A política nacional de irrigação foi revista e pela Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013 sancionada.

⁶ Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997.

Figura 1. Níveis de agregação de informações do PNRH, (A) Brasil, (B) Divisão Hidrográfica Nacional (Sub-1), (c) 56 unidades de planejamento.

Fonte: MMA (2006c).

Uma série de diretrizes e panoramas foram definidos no plano, eixos críticos e desafios, mecanismos institucionais de cooperação com países vizinhos, entre outras definições. O PNRH considera a multisetorialidade (diferentes interesses dos setores e usuários), transversalidade (contempla temas correlatos como educação, desenvolvimento tecnológico, saúde, etc), multidimensionalidade (aborda demais aspectos relacionados a água como econômicos, hidrológicos, etc), cobertura (abrange todo o território nacional) (MMA, 2006d).

Além disso, o PNRH é um dos instrumentos da política nacional de recursos hídricos, os conceitos e as diretrizes que regem sua concepção devem guardar coerência com aqueles que orientam a própria política e o respectivo arranjo institucional (MMA, 2006d). Assim, a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e contar com a participação do poder público, dos usuários e das comunidades (BRASIL, 1997).

Consultas regionais balizaram a consolidação dos diagnósticos por região hidrográfica, bem como a proposição das diretrizes. Entre os conceitos e políticas para as ações do PNRH, destacamos o conceito de federalismo e descentralização, que segundo MMA (2006d) é imprescindível para viabilizar a integração dos interesses públicos.

A escala de inserção espacial do PNRH partiu do contexto global para as menores abrangências espaciais, envolveu a identificação da matriz de relações interinstitucionais, o cruzamento dessas com o conjunto real dos problemas identificados na fase de diagnósticos e, de modo geral, definiu os objetivos estratégicos classificados em três dimensões: a) melhoria

das disponibilidades hídricas, superficiais e subterrâneas, em qualidade e em quantidade; b) redução dos conflitos reais e potenciais de uso da água, bem como dos eventos hidrológicos críticos e c) percepção da conservação da água como valor socioambiental relevante (MMA, 2006d).

Com isso, basicamente, foram definidos três cenários sobre os recursos hídricos no PNRH denominados de: a) Água para todos, b) Água para alguns e c) Água para poucos (MMA, 2006c) A síntese dos cenários está discriminada na tabela 1.

Tabela 1. Cenários descritos em PNRH 2006.

INDICADORES/ CENÁRIOS	CENÁRIO 1: Água para todos	CENÁRIO 2: Água para Alguns	CENÁRIO 3: Água para poucos
População (milhões hab)	209	219	228
PIB (Trilhões)	R\$ 3.631 US\$ 1.613	R\$ 3.125 US\$ 1.388	R\$ 2.315 US\$ 1.028
Taxa de crescimento (%)	4,50	3,50	1,50
PIB per capita	US\$ 7.721	US\$ 6.311	US\$ 4.511
1. Cenários Mundiais	Longo ciclo de prosperidade	Dinamismo Excludente	Instabilidade e fragmentação
2. Cenários Nacionais	Desenvolvimento integrado	Modernização com exclusão	Estagnação e Pobreza
3. Atividades Produtivas: Indústria, agricultura e pecuária	Grande crescimento com médios impactos	Grande crescimento com fortes impactos	Pequenos crescimentos com médios impactos
4. Usinas	Forte expansão	Forte Expansão	Pequena Expansão
5. Saneamento	Estatual com eficiência a universalização	Participação privada com pouca expansão	Estatual com deficiência
6. Gestão	Operativa	Economicista	Burocrática
7. Investimentos e despesas públicas em proteção e gestão dos recursos hídricos	Grandes, massivos e corretivos	Pequenos, seletivos e corretivos	Pequenos, seletivos e corretivos
8. Principais regiões de expansão para a agricultura irrigada	Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás) e Nordeste (Bahia, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Maranhão) e Norte (Rondônia, Tocantins e Pará)	Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás) e Norte (Rondônia, Tocantins e Pará)	Região hidrográfica amazônica (Norte), Tocantins – Araguaia, Parnaíba e Nordeste Ocidental.
9. Principais culturas para expansão da agricultura irrigada	Cereais, frutas, cana de açúcar algodão, flores e plantas ornamentais para exportação.	Cereais, frutas, especialmente a uva. Cana de açúcar expande-se para a produção de combustível e algodão para indústria têxtil	Cana de açúcar para combustível e algodão para indústria têxtil, extração vegetal
10. Incremento anual da área irrigada estimado no PNRH (2006-2020)	170 mil hectares anuais ⁷	120 mil hectares anuais	70 mil hectares anuais

Fonte: Adaptado de MMA (2006c).

⁷ O incremento médio anual observado no período de 1996-2000 foi de 135 mil hectares, ver p.27 em MMA (2006c).

Os cenários descritos no PNRH consideraram situações hipotéticas em relação a todos os grupos de atividades descrevendo os motivos para a expansão, retração que são associadas as mudanças na demanda interna e externa. Por exemplo, no cenário de água para todos, a indústria passa a ser mais competitiva, especialmente as relacionadas a agricultura o que por sua vez, induziria mudanças na infraestrutura.

No cenário de água para alguns, a pecuária seria ampliada no Centro-Oeste e Norte do país, a indústria como a agroindústria, mineração, siderurgia, metalurgia, minerais ferrosos e não ferrosos, além do petroquímico se expandem com foco nas exportações. No cenário de água para poucos a extração mineral perderia ritmo face a queda da demanda mundial e da substituição de recursos naturais, concentra-se produção de ferro e minerais não ferrosos, a aquicultura concentra-se no Nordeste e a pecuária mantém-se concentrada no Sul, Sudeste e Centro-Oeste (MMA, 2006c).

Os cenários consideram que, mesmo de forma incipiente em alguns casos, em 2020 tem-se avanços quanto a cobrança pelo uso da água e melhoria na gestão dos recursos hídricos. Na construção dos cenários, o PNRH considerou fatos associados aos riscos no atendimento às demandas dos recursos hídricos nas diversas regiões, expansão das atividades rurais, particularmente da irrigação, amenizar os impactos ambientais; insuficiência do saneamento ambiental, entre outros fatores (MMA, 2006c) para a elaboração dos sub-planos e projetos futuros.

Fatos históricos, econômicos, sociais e ambientais foram utilizados na elaboração dos cenários de recursos hídricos para o país em 2020. Porém, toda previsão pode sofrer alterações conjunturais ao longo do tempo e não ser concretizada em sua totalidade. Por exemplo, ao ser elaborado, o plano considerou um crescimento de áreas irrigadas superior ao crescimento anual observado nas duas décadas anteriores, o que na época de elaboração do plano demonstrou ser plausível diante das expectativas econômicas internas e externas. Porém, a estrutura econômica entre 2006-2012 permitiu que o crescimento dos hectares irrigados no país fosse superior aos cenários previstos pelo plano PNRH⁸.

As principais estratégias de construção dos cenários futuros foram: a) consolidar o marco institucional; b) fortalecer o sistema de gestão; c) concentrar a gestão também na demanda por recursos hídricos; d) propor formas de integração das políticas públicas; e) contribuir para a desconcentração econômica e equidade social; f) antecipar-se aos problemas

⁸ Tabela 10 no item 2.3.2.

nas regiões críticas; g) fortalecer a política de capacitação em ciência e tecnologia (MMA, 2006b), ou seja, contemplou situações que fortaleceriam o gerenciamento dos recursos hídricos.

Para que tais estratégias pudessem ser realizadas o plano formulou diretrizes para o abastecimento de informações e documentos, como os cadernos setoriais, os cadernos regionais, os estudos de diagnóstico, além da análise prospectiva para apontar as falhas e propor novos diagnósticos sobre as águas brasileiras. Os planos constituem-se em instrumentos para a implementação da política nacional e são desenvolvidos em três níveis: (i) Nacional – Plano Nacional de Recursos Hídricos; (ii) Estadual – Planos de Recursos Hídricos dos Estados; (iii) – Bacia Hidrográfica – Planos de Recursos Hídricos de Bacias Hidrográficas (MMA, 2006c)

A Figura 2 ilustra a evolução histórica das principais ferramentas de auxílio a gestão das águas em relação ao PNRH, desde a sua configuração inicial entre 2003-2005 até as atuais revisões e definição das prioridades.

Figura 2. Evolução histórica do PNRH e seus aditivos

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados de MMA (2011b) e MMA (2015).

O processo de desenvolvimento e aperfeiçoamento do plano é contínuo, o que permite definir objetivos, novas metas e meios para atingi-los em um dado espaço de tempo. A síntese executiva fornece o panorama e estado dos recursos hídricos do Brasil, desde o histórico do desenvolvimento da gestão integrada, a base jurídica e institucional, os recursos hídricos no contexto das relações internacionais, conjuntura macroeconômica, biomas, ecorregiões, etc (MMA,2006b).

O documento intitulado Águas Para o Futuro – uma visão para 2020, apresenta a construção dos cenários de forma detalhada e as descrições para cada cenário para 2020 (MMA,2006c), com base neste documento foi elaborado os cenários utilizados na simulação para a demanda de recursos hídricos entre 2005-2025.

O material sobre a condução dos Programas Nacionais e Metas para o PNRH definem macro diretrizes e a estrutura de programas, o gerenciamento e sistemática e a descrição geral dos programas e subprogramas do PNRH é descrito em MMA (2006e). O acompanhamento da implementação do PNRH é realizado por meio dos informes do sistema de gerenciamento orientado para resultados do PNRH (SIGEOR/PNRH) e os relatórios de conjuntura dos recursos hídricos, como por exemplo o descrito em ANA (2015).

Em 2010 teve início a primeira revisão do PNRH, que contou com um processo de consulta aos integrantes do SINGREH nas 12 regiões hidrográficas brasileiras, resultando na atualização e foco do Volume IV do PNRH – Programas Nacionais e Metas. Nesse sentido, os principais progressos dos diversos programas que integram o PNRH foram avaliados e dentro do programa I (estudos estratégicos de recursos hídricos) o subprograma de maior avanço foi a elaboração da matriz de coeficientes técnicos de uso dos recursos hídricos para a indústria e agricultura irrigada descrito em MMA (2011a), um avanço na construção de informações sobre demandas de uso dos recursos hídricos no Brasil conforme descrito em MMA (2011b).

Cabe ressaltar que, os documentos aditivos do PNRH não substituem os documentos elaborados anteriormente, mas se somam a estes. Um ponto importante entre as ações previstas no PNRH é a inclusão e cadastro de usuários no banco de dados do cadastro nacional de usuários de recursos hídricos (CNARH). Por exemplo, em 2012, foram cadastrados 13.300 novos usuários, sendo que 2.600 são usuários de domínio da união, incluindo usuários não passíveis de outorga. Em 2014 até setembro, foram cadastrados 6.000 novos usuários (MMA, 2015).

A estrutura de programas do PNRH foi organizada em quatro componentes principais, subdivididos em treze programas, dos quais sete são subdivididos em trinta subprogramas. Esses programas são divididos de acordo com os componentes de temas afins. Nesse sentido,

os 13 programas foram divididos em programas de desenvolvimento da gestão integrada dos recursos hídricos, de articulação intersetorial, interinstitucional e intrainstitucional, programas regionais de recursos hídricos e de gerenciamento e implementação do PNRH e todos esses programas e subprogramas podem ser conferidos em MMA (2006e). Assim, a ANA e o SRHU desenvolveram o (SIGEOR) o qual forneceu diversos informes sobre a implementação do PNRH.

Por exemplo, o informe 2015 (MMA, 2015) descreveu que no período de 2012 a 2014, além do apoio à criação de novos comitês de bacias hidrográficas (CBHs), a atuação da ANA esteve voltada a manter os nove comitês interestaduais em funcionamento e a prioridade para 2015 seria o fortalecimento dos nove comitês atuantes e a instalação do CBH Uruguai.

O processo de revisão do PNRH, iniciado em 2010, esteve estruturado em 3 fases: obtenção de subsídios (documentos e informes dos resultados do PNRH e relatórios de conjuntura hídrica), consolidação desses documentos e processo deliberativo dos resultados (MMA, 2011b). A elaboração dos informes sobre conjuntura dos recursos hídricos, as oficinas regionais para a definição das ações prioritárias do PNRH, as discussões no Fórum Nacional de Órgãos Gestores das Águas – FNOGA e no Fórum Nacional de Comitês de Bacias Hidrográficas – FNCBHs, também tiveram um importante papel na mobilização dos comitês de bacia para o envolvimento nesse processo, entre outras ações, culminaram no detalhamento das prioridades para 2012-2015 em termos de implementação da política com a ampliação do cadastro de usos e usuários de recursos hídricos, entre outros (MMA, 2011b).

As principais dificuldades observadas nessa primeira versão da avaliação do PNRH vão em direção a montagem do arranjo institucional e da máquina necessária para a coordenação e acompanhamento da implementação do PNRH; falta de alinhamento dos atores estratégicos na condução das atividades mínimas necessárias; baixa velocidade de partida (fase de arrancada dos programas), banalização do detalhamento de alguns programas entre 2007-2009 (MMA, 2011b).

O levantamento de dados para a formulação do plano PNRH corroborou a necessidade de aprofundar os estudos e os debates sobre o uso da água em todas as regiões do país. Destaca-se a região do semiárido nordestino e as reais possibilidades de expansão da agricultura irrigada nessa região. Porém, o estado do Mato Grosso (região centro-oeste) e o estado de Minas Gerais (região sudeste), são consideradas de elevado potencial de expansão nas áreas irrigadas e na pecuária. A região Norte do país com os estados de Rondônia, Tocantins e Pará teriam relevância no cultivo de alimentos como cereais e frutas e também se expandiriam no plantio

de cana-de-açúcar para a produção de combustível, de algodão para a indústria têxtil e de flores e plantas ornamentais para a exportação (MMA, 2006b).

Um ponto importante no PNRH diz respeito ao subprograma III.7 –Aplicação de instrumentos econômicos à gestão de recursos hídricos, que é parte integrante do programa III sobre o Desenvolvimento de Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos e visa, entre outros pontos, a implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos nas bacias onde o instrumento for aprovado pelo comitê de bacia, o que poderia minimizar os impactos ambientais e amenizar o conflito nos usos das águas mediante a valoração do bem ambiental.

Nessa mesma linha de raciocínio, o programa VI sobre Usos Múltiplos e Gestão Integrada dos recursos hídricos, apresenta o subprograma VI.1 para a gestão em áreas sujeitas a eventos hidrológicos críticos, cujo o intuito é mapear as áreas vulneráveis a eventos extremos, o subprograma VI.4 e VI.5 que buscam a recuperação e conservação das bacias hidrográficas em áreas urbanas e rurais e o desenvolvimento dos mecanismos de pagamentos por serviços ambientais (PSA) com foco na conservação das águas são pontos de prioridades entre 2012-2015(MMA, 2011b).

Outro ponto relevante no PNRH cenários foi a descrição quanto ao incremento da área irrigada por região hidrográfica, o que direcionaria os investimentos necessários a expansão da agricultura irrigada em cada região hidrográfica, como pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2. Incremento de área irrigada por região hidrográfica em cada cenário.

Região Hidrográfica	Incremento 2005/2020 (%)		
	Água para todos	Água para Alguns	Água para poucos
Amazônica	226	226	117
Tocantins-Araguaia	273	199	124
Atlântico Nordeste Ocidental	454	142	142
Parnaíba	142	343	232
Atlântico Nordeste Oriental	35	13	-10
São Francisco	89	62	35
Atlântico Leste	142	142	61
Atlântico Sudeste	69	35	2
Atlântico Sul	17	3	3
Uruguai	24	6	6
Paraná	37	26	3
Paraguai	59	27	-5
Total	58	39	16

Fonte: Adaptado de MMA (2006b).

As Unidades de Federação não apresentam as mesmas delimitações físicas das regiões hidrográficas. Porém, o PNRH fornece alguns indicativos de quais estados poderiam ter a área irrigada expandida em detrimento de outros com base na região hidrográfica na qual está localizada. No cenário de água para todos, o incremento maior das áreas irrigadas deveria ocorrer nas regiões do Atlântico Nordeste Ocidental, Tocantins-Araguaia e Amazônica. No cenário de água para alguns as expansões maiores ocorreriam na Parnaíba, Amazônica e Tocantins-Araguaia e, no cenário de água para poucos na região Parnaíba, Atlântico Nordeste Ocidental e Tocantins-Araguaia (MMA, 2006b).

Cada cenário do plano descreve a situação econômica e política ao qual espera-se que o país possa estar enquadrado em 2020. Com isso, o incremento das áreas irrigadas por região hidrográfica deveria considerar o desempenho econômico e a adoção de novas tecnologias. Quanto maior a incorporação de tecnologias, maior a expansão do comércio internacional e a melhoria na gestão dos recursos hídricos, a área irrigada avançaria mais em regiões que apresentam elevada vazão de água e apresentam pouca infraestrutura, mas com alto potencial de expansão. Quanto menor a tecnologia, menor o crescimento econômico e menos a expansão da área irrigada sobre a região.

Portanto, o PNRH configura-se como um dos principais instrumentos de gestão das águas no país. Os cenários fornecem uma descrição da evolução da irrigação e crescimento econômico para o país e que são possíveis de serem simuladas em um modelo computável de equilíbrio geral. As variáveis relacionadas a gestão dos recursos hídricos e que avaliam a qualidade destes ficam subentendidas na descrição do plano, não sendo possível a avaliação e simulação futura destas.

A descrição de áreas irrigadas potenciais por estado não é detalhada no plano PNRH. Portanto, o estudo sobre a Análise Territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil reportado em MI (2014a) foi utilizado de forma complementar ao estudo e panoramas do PNRH e este é descrito a seguir.

2.1.3. Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil

O estudo sobre a o território brasileiro para o desenvolvimento da agricultura irrigada disponível no Ministério da Integração Nacional (MI, 2014a), está pautado na portaria nº 115, 19.06.2015, de modo que os novos projetos públicos de irrigação planejados e implantados com recursos da União deverão estar em conformidade com a Análise Territorial para o

Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil (BRASIL, 2015b). O estudo utilizou uma modelagem espacial para a cobertura nacional e conhecimento da área irrigada e área potencialmente irrigável no país. O estudo considerou a dimensão física do país, bem como a situação das vazões dos rios, regimes de chuvas e produtividade, além de temas ambientais, sociais e econômicos (MI, 2014a).

O modelo proposto considera situações divididas em dois grupos denominados de “chave”. A primeira chave (primeira parte do estudo das áreas) abordou os aspectos físicos do desenvolvimento da irrigação e foram tratadas na escala de Ottobacias⁹ do nível 12, num total de 168.843, com área média de 5 mil hectares (MI, 2014a). As questões elaboradas nesse grupo chave geram as classes territoriais quanto ao nível de expansão, estoque, manutenção e direcionamento e outras estratégias de desenvolvimento para a área irrigada e irrigável.

A classe denominada Expansão representaria as combinações de áreas potenciais para a irrigação e áreas já irrigadas, a capacidade de expansão nessa área vai além da atual área irrigada na região. A classe denominada de Estoque representa a combinação de muita área adicional irrigável e pouca área irrigada, a implantação da irrigação é possível, mas não prontamente. A classe denominada de Manutenção e Redirecionamento representa a combinação de pouca área adicional irrigável e muita área irrigada, o potencial que havia na região está sendo plenamente utilizado. A classe denominada Outra Estratégia de Desenvolvimento representa combinação de pouca área adicional irrigável e o ainda pouco ou não estabelecimento de irrigação na bacia, nessa região o ideal seria procurar outras formas de desenvolvimento que não seja irrigação (MI, 2014).

A segunda chave no estudo descreve as tipologias do agricultor (familiar ou não familiar), a aptidão agrícola das terras em cultivo de sequeiro, ao desenvolvimento rural e ao interesse ambiental de conservação define a prioridade de irrigação. Essas prioridades foram classificadas como Estável, Independente, Alterável e Apoiada. A prioridade Estável, descreve que o sistema agrícola presente promoveu o desenvolvimento rural adequado. A prioridade Independente, reporta que o desenvolvimento rural ocorreu à parte da aptidão agrícola de terras.

A prioridade Alterável, descreve que o modelo agrícola existente não promoveu o desenvolvimento rural adequado, apesar das boas condições do meio físico. E na prioridade Apoiada, fomentar sistemas agrícolas tradicionais não é uma forma de desenvolvimento promissor, dada a restrição do meio físico (MI, 2014a). A combinação das duas chaves (física e de prioridade) gerou sete classes de designação que podem ser vistas na tabela 3.

⁹ Codificação de bacias proposta por Pfafstatter (1989).

Tabela 3. Combinação de chave física com chave de prioridade

Chave Física	Chave Prioridade	Designação
Expansão	Alterável	Máximo interesse de intervenção pública (MIIP)
	Apoiada	Interesse elevado de intervenção pública
Estoque	Alterável ou Apoiada	Interesse compartilhado de intervenção pública e privada
Expansão ou Estoque	Estável ou Independente	Fomento de interesse privado
Manutenção e Redirecionamento		Monitoramento e regulamentação
	Alterável ou apoiada	Intervenção pública específica
Outra estratégia de desenvolvimento	Estável, Independente, Alterável ou Apoiada	Monitoramento

Fonte: MI (2014).

Com bases nessas combinações foi possível representar a estratégia do PNRH no modelo proposto. A designação adotada na simulação foi a de Máximo Interesse de Intervenção Pública (MIIP) com as combinações de chave física para Expansão e chave de prioridade Alterável. Essa combinação de chaves foi escolhida por se tratar de uma combinação que merece destaque na intervenção pública e são áreas cuja a irrigação numa bacia nunca será a sua área potencialmente agricultável total, conforme descrito em MI (2014a), as classes sugeridas no estudo não pretendem responder a questões mais específicas do que as estipuladas no modelo.

O estudo utilizou o total de áreas irrigadas segundo o relatório da ANA (2013), o que permitiu ajustar os dados observados para 2012 e a devida calibração ao modelo TERM-BR¹⁰. A ação proposta no estudo de MI (2014a) para a designação MIIP é de expandir e promover a agricultura irrigada agora ou no futuro com prioridade de intervenção pública, o que sugere que a adoção de políticas regionais direcionadas para a promoção da expansão das áreas irrigadas estaria condizente com os termos descritos nos cenários do PNRH.

No relatório de MI (2014a) a área adicional irrigável total no Brasil somaria +75 milhões de hectares (Mha), dos quais 14 Mha (18%) se encontram em situações em que não há indicação de expansão da área agrícola irrigada, 34 Mha (45%) em que se justifica intervenção pública de incentivos aos subsídios, e 27Mha (36% em que há maior interesse por intervenção pública motivado pelo interesse (21Mha) ou pela oportunidade (6Mha) de promover o desenvolvimento rural (MI, 2014a).

¹⁰ Os dados de áreas irrigadas e irrigáveis em cada classe de designação, em hectares, foi fornecido pelos autores de MI (2014), os valores utilizados remetem as áreas informacionais descritas na figura 1.p.23 de MI (2014).

Desse total de áreas potencialmente irrigáveis, a expansão de áreas irrigáveis para os estados do Nordeste poderia atingir aproximadamente +8.2 milhões de hectares. O estado da Bahia apresenta o maior potencial de expansão de áreas irrigáveis (+3.5 milhões de hectares) e o estado de Sergipe apresenta o menor potencial de expansão (+71 mil hectares), considerando todas as classes de designação de MI (2014a).

A área irrigável potencial descrita na designação MIIP seria de pouco mais de 12 milhões de hectares (17% do total das classes de designação do estudo). As maiores expansões de área irrigável seriam nos estados do Mato Grosso (+2.9 milhões de hectares), Minas Gerais (+1.7 milhões de hectares), Rio Grande do Sul (+1.5 milhões de hectares). As menores expansões de áreas potencialmente irrigáveis nessa designação ocorreriam nos estados do Rio Grande do Norte (+634 hectares), Alagoas (+2.043 hectares), Sergipe (+3.465 hectares) e Paraíba (+8.941 hectares) (MI, 2014a).

Cabe ressaltar que, o estudo considerou as regras de proteção da vegetação natural aplicadas as propriedades privadas, para isso utilizou-se um modelo de processamento das regras do Código Florestal (lei nº 12.651/2012). O modelo processa variáveis que indicam o uso da terra, áreas de preservação permanente e a localização em relação ao Bioma e Amazônia legal de modo a estimar espacialmente a exigência de reserva legal (MI, 2014a).

2.2. Disponibilidade Hídrica e Escassez

2.2.1. Disponibilidade Hídrica no Brasil

Os recursos hídricos incluem as águas superficiais e subterrâneas disponíveis para qualquer tipo de uso, localizadas nas mais diversas regiões ou bacias (CECH, 2013). Um sistema hídrico como uma bacia hidrográfica tem como saída de água uma vazão que varia temporalmente e espacialmente dentro da mesma, parte dessa vazão é utilizada pela sociedade e parte é mantida na bacia para a conservação ambiental e atender a usos não consuntivos (Barth, 1987) como a navegação e recreação.

Portanto, a informação quantitativa é básica para os estudos da disponibilidade hídrica de uma bacia e região. Nesse sentido, em termos de quantidade o Brasil detém cerca de 13% da produção mundial de água doce nos quais a região da bacia hidrográfica da Amazônica dispõe de 81% desse total de recursos hídricos para atender a demanda de apenas 5% da população do país. Por outro lado, regiões hidrográficas banhadas pelo Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população apresentam apenas 2,7% dos recursos hídricos disponíveis (ANA, 2015).

A Figura 3, ilustra como o território brasileiro foi dividido hidrograficamente de acordo com a resolução nº 32 de 2003 (BRASIL, 2003a).

Figura 3. Regiões hidrográficas no Brasil.

Fonte: ANA (2010a).

A grande variação climática do país se reflete na distribuição desigual dos recursos disponíveis. Em termos de vazão de água e população atendida, a bacia hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental apresenta disponibilidade hídrica inferior a 100 m³/s, na Região Hidrográfica Amazônica a disponibilidade alcança vazões de 74 mil m³/s. A Região Hidrográfica Amazônica concentra 81% da disponibilidade de recursos hídricos brasileiros distribuídos em 45% da extensão territorial do país, a outra metade do país, portanto, é responsável por menos de 20% de todos os recursos hídricos superficiais disponíveis (ANA, 2010a).

A bacia Amazônica compreende ainda uma área de 2,2 milhões de km² em território estrangeiro, que contribui com adicionais 86.321 m³/s em termos de vazão média. Da mesma forma, a bacia do rio Uruguai possui 37 mil km² em território estrangeiro, contribuindo com 878 m³/s em termos de vazão média, e a bacia do rio Paraguai, com área de 118 mil km² localizada em outros países aporta outros 595 m³/s em termos de vazão média. Assim, se for levado em conta as vazões oriundas de território estrangeiro que afluem ao país, essa disponibilidade hídrica total atinge valores da ordem de 267 mil m³/s (8.427 km³/ano) o que corresponde a 18% da disponibilidade Mundial (MMA, 2006b).

A tabela 4 mostra a disponibilidade hídrica por Região Hidrográfica em metros cúbicos por segundo (m^3/s) em termos de vazão média e disponibilidade hídrica em estiagem.

Tabela 4. Disponibilidade hídrica por região hidrográfica com vazão de permanência de 95%.

Disponibilidade Hídrica das Regiões				
Região Hidrográfica	Vazão média m^3/s	Disponibilidade Hídrica/ Estiagem $\text{Q}_{95}.\text{m}^3/\text{s}^*$	Área Total	Taxa de urbanização
Amazônica	132.145	73.748	3.869.953 km^2	67%
Tocantins-Araguaia	13.799	5.447	921.921 km^2	74%
Atlântico Nordeste Ocidental	2.608	320	274.301 km^2	57%
Parnaíba	767	379	333.056 km^2	63%
Atlântico Nordeste Oriental	774	91	286.802 km^2	76%
São Francisco	2.846	1.896	638.576 m^2	74%
Atlântico Leste	1.484	305	388.160 km^2	70%
Atlântico sudeste	3.162	1.109	214.629 km^2	90%
Atlântico sul	4.055	647	187.522 km^2	85%
Paraná	11.414	5.792	879.873 m^2	68%
Uruguai	4.103	565	174.533 m^2	91%
Paraguai	2.359	782	363.446 km^2	8%
Brasil	179.516	91.071		

Fonte: Conjuntura Recursos Hídricos, ANA (2013).

OBS: * Vazão com permanência de 95% Q_{95} (m^3/s): é a vazão que é igualada ou excedida em 95% do tempo (obtida com base na série disponível de vazões).

As maiores vazões estão nas regiões hidrográficas Amazônica, Paraná e Tocantins/Araguaia, enquanto as menores estão nas regiões hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba e Atlântico Leste.

Em algumas regiões no país a variação da vazão específica altera-se pouco ao longo do ano, enquanto que, em outras bacias essa variação é relativamente alta. Como exemplo, cita-se as bacias da região semiárida, a vazão pode oscilar até mais de 40 l/s.km^2 no noroeste da região Amazônica, sendo a média nacional igual a 21 l/s.km^2 . A região do Pantanal mesmo sendo abundante em água é uma região com baixa contribuição ao escoamento artificial de água, pois há uma expressiva perda de água por evapotranspiração (ANA, 2005).

No semiárido, por exemplo, na maioria dos rios só é possível garantir uma oferta contínua de água com o uso de açudes/reservatórios, uma vez que esses rios naturalmente secam durante os meses de estiagem. Os reservatórios são utilizados para aumentar a garantia de atendimento a demandas contínuas e a recuperação dos volumes desses reservatórios depende do aporte de água dos rios nos períodos úmidos, que depende do regime pluviométrico (ANA, 2015).

A disponibilidade hídrica subterrânea no Brasil pode ser descrita em termos de áreas aflorantes que representam as áreas dos aquíferos e sistemas aquíferos, poços tubulares e demais reservas de águas subterrâneas no Brasil. O uso da água subterrânea é complementar à superficial, é utilizada para diversos fins, desde a irrigação de alimentos ao abastecimento humano. As disponibilidades de águas subterrâneas nos principais sistemas aquíferos brasileiros representam um volume total renovável em torno de 20.473 m³/s e, admitindo que somente 20% dessas reservas são exploráveis, o valor totaliza 4.096,6 m³/s (ANA, 2013).

Os problemas quanto à disponibilidade hídrica, são associadas as alterações climáticas e demográficas, e são analisadas em termos qualitativos, e muitas vezes apresentam elevadas cargas orgânicas despejadas em rios associadas aos diversos usos consuntivos (ANA, 2015). Como ressaltou Neto (2016) existe um mito de que o estado de São Paulo tivesse pouca disponibilidade hídrica, os autores destacam que a região metropolitana de São Paulo não trata os esgotos e nessas condições, a água é imprestável para o abastecimento e, exaltam a necessidade de investimento para garantir a segurança hídrica.

O ano de 2014, por exemplo, caracterizou-se por eventos extremos, tanto de excesso quanto de escassez de chuva. Na região Sudeste, as precipitações acumuladas no período de outubro de 2013 a setembro de 2014 ficaram abaixo da média em 85% das estações pluviométricas avaliadas. Em mais da metade das estações, a chuva foi inferior a 80% da média registrada, chegando a ser, em algumas localidades, inferior a 50% (ANA, 2015).

O armazenamento de água em açudes é uma das maneiras mais antigas e comumente utilizadas para minimizar os efeitos da seca na região Nordeste. A ANA monitora os volumes ocupados de 270 reservatórios com capacidade igual ou superior a 10 hm³. Porém, em dezembro de 2014, aproximadamente 60% dos reservatórios monitorados pela ANA no semiárido se encontravam com menos de 30% da capacidade de armazenamento, a menor dos últimos anos (ANA, 2015).

Como ressaltou Neto (2016), uma crise hídrica se caracteriza numa bacia quando ela sofre uma estiagem (fenômenos hidro meteorológicos) que reduz as precipitações pluviométricas além das necessárias para atender a sua demanda. Nesse sentido, uma crise hídrica pode ocorrer numa bacia específica e não ocorrer em outra bacia para uma mesma região. A subseção a seguir mostra uma breve descrição sobre as características físico e climáticas da região Nordeste do Brasil, bem como, as principais discussões sobre as políticas de combate à seca e as limitações regionais.

2.2.2. Características físico e climáticas do Nordeste do Brasil

A região Nordeste é a região que demanda maior atenção quanto a possíveis situações de seca dado as alterações climáticas, mudanças no uso do solo, concentração demográfica e uso irracional dos recursos. Diversos são os estudos que apontam as situações de seca ocorridas no Nordeste ao longo dos anos (Rebouças, 1997; MI, 2005; Campos, 2014; Martins, Magalhães, 2015). Em Martins e Magalhães (2015), a situação da seca no Nordeste entre 2012 e 2015 é avaliada no contexto de estudos de campo, em 2013 e 2015, os autores analisaram os impactos na região do sertão, mais especificamente no sertão do Ceará. Segundo os autores, a limitação financeira é um dos entraves para a solução dos problemas de gestão de políticas para o abastecimento regional, problemas de infraestrutura e questões institucionais e de logística.

Outros estudos enfocam as políticas de combate à seca adotadas na região ao longo do tempo e os modelos de gestão propostos (Chaloult, 1980; Carvalho, 1988; Campos, 2012; Campos, 2014; Teixeira e Machado, 2015), que descrevem os procedimentos desde a elaboração de uma proposta de política de combate à seca até a sua formalização.

Campos (2012) apresenta uma nova proposta de periodização das políticas de secas no contexto dos recursos hídricos, o autor contextualiza o período histórico das secas no Nordeste, a questão da gestão das águas para o desenvolvimento regional e as políticas para o aumento da oferta de água, como a política hidráulica (cita-se a construção de açudes), elencando as transformações que as políticas de combate à seca sofreram ao longo dos anos, e que a transposição do rio São Francisco, talvez seja, a última grande obra de infraestrutura para o fortalecimento da oferta de água.

Os estudos quanto a disponibilidade hídrica regional especialmente os realizados pela Agência Nacional das Águas (ANA) descritos em MMA (2006f), MMA (2006g), MMA (2006h), MMA (2006i), MMA (2006j), MMA (2006k), fornecem um detalhamento das regiões hidrográficas¹¹ e são parte integrante das discussões que envolveram a elaboração do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e seus aditivos.

A região Nordeste apresenta características de abastecimento hídrico distintos, visto que a variabilidade interanual da temperatura da superfície do mar (SST) sobre o Atlântico tropical, tem forte influência na distribuição das chuvas sobre a América tropical (Nobre e Shukla, 1996). As condições físico-climáticas da região Nordeste do Brasil exigem empenho na gestão dos recursos hídricos por se tratar de uma região que apresenta quatro grandes

¹¹ Nesse caso, cita-se somente as regiões hidrográficas pertencentes ao Nordeste do Brasil.

domínios geoambientais com características específicas: o Sertão localizado na região do semiárido apresenta maior índice de aridez do solo, Zona da Mata com a maior pluviosidade, entre mil e 3 mil milímetros/ano (mm), Agreste com pluviosidade entre 700 e mil mm/ano e Meio Norte que apresenta grandes reservas de águas subterrâneas (Rebouças, 1997).

Os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia, apresentam precipitação média que varia entre 800 e 2000 milímetros (mm) por ano, o que influencia na dinâmica da vegetação nativa (Molion e Bernardo, 2000; Barbosa e Kumar, 2016). As reduções no volume de chuvas, aumento da evaporação dos rios, mudanças na cobertura do solo, o aumento da degradação ambiental que são oriundos, em parte, das mudanças climáticas e torna o ecossistema mais vulnerável, o que pode levar a desertificação (Oyama e Nobre, 2004; Marengo e Bernasconi, 2015) ao longo do tempo em algumas regiões.

Em Marengo e Bernasconi (2015) as projeções de mudanças climáticas realizadas pelos autores sugerem o aumento da seca na região com redução das precipitações, aumento de temperatura, déficits hídricos e períodos secos mais longos, levando a secas e a condições mais áridas, na segunda metade do século XXI.

Atualmente, para as regiões que abrangem o norte do Nordeste (Ceará e partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão e oeste da Paraíba e de Pernambuco), os índices pluviométricos variam de 400mm/ano (interior) a mais de 2.000mm/ano (litoral), a precipitação nessas regiões deve-se ao deslocamento anual da zona de convergência intertropical (ZCIT) para latitudes mais ao sul no Hemisfério Norte (Molion e Bernardo, 2000), o semiárido da região norte do nordeste tem curta estação chuvosa concentrada em torno de marco-abril-maio e a variabilidade interanual pode ser entendida como desvios da média anual (POLZIN e HASTENRATH, 2014).

Essa variabilidade interanual e interregional também são associadas a eventos como o La Niña (resfriamento anormal das águas do oceano Pacífico) e o El Niño (aquecimento anormal das águas do oceano Pacífico) que afetam a região Nordeste do Brasil e, são sujeitos aos efeitos de duas zonas de convergência atmosférica: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)¹² e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que modula a variabilidade interanual das chuvas sazonais sobre a região centro-norte da Amazônia e a porção Nordeste

¹² É o principal sistema de produção de chuvas no setor norte do Nordeste, principalmente nos meses de março e abril. Em anos em que a ZCIT não se apresenta sobre a região, todos os estados sofrem com a redução de chuvas, principalmente no semiárido.

do Brasil, efeitos que são detalhados nos estudos de (Nobre e Shukla, 1996; Nobre et al, 2006; Polzin e Hastenrath, 2014) por exemplo.

Os estados da região Nordeste são abastecidos pelas regiões hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba, São Francisco, Atlântico Nordeste Ocidental e Atlântico Leste e Tocantins-Araguaia. Porém, o rio São Francisco é o principal recurso hídrico da região. Capturar a dinâmica de uma bacia hidrográfica é de grande dificuldade, mesmo nos modelos hidrológicos os dados meteorológicos de boa qualidade, em países em desenvolvimento, são muitas vezes inadequados em número, distribuição espacial e períodos de operação (Bressiani, et al. 2015), por exemplo.

Assim, a tabela 5 apresenta um quadro resumo com algumas informações regionais quanto as quantidades de municípios, habitantes, extensão territorial e sistemas de abastecimento

Tabela 5. Características regionais quanto a população, abastecimento e previsão de demanda.

Características Regionais	AL	BA	CE	MA	PB	PE	PI	RN	SE
Municípios	102	417	184	217	233	185	224	167	75
Habitantes (Milhões)	2,3	10,1	6,3	4,1	2,8	7,05	2	2,5	1,5
Área (km²)	27.778, 5	564.733,10	148.920,40	331.937,40	56.569,70	98.148,30	251.577, 7	52.811,00	21.915,10
Concentração % (municípios)	49% (11)	35%(13)	55% (15)	26% (5)	39% (13)	51% (14)		49%	53% (4)
Região Hidrográfica	São Francisco, Atlântico Nordeste Oriental	São Francisco, Atlântico Leste	Atlântico Nordeste Oriental, Parnaíba	Atlântico Nordeste Ocidental, Tocantins / Araguaia	Atlântico Nordeste Oriental	São Francisco, Atlântico Nordeste Oriental	Parnaíba	Atlântico Nordeste Oriental	São Francisco, Atlântico Leste
Abastecimento									
Mananciais superficiais	73%	73%	65% *	21%	76%	83%		51%	62%
Águas subterrâneas	16%	19%	35%	74%	16%	9%	78% **	46%	38%
Ambos	11%	8%		5%	8%	8%		3%	
Principal CIA Abastecimento	CASAL	EMBASA	CAGECE	CAEMA	CAGEPA	COMPESA	AGESPISA/ CORESA SUL	CAERN	DESO
Precipitação média (total anual)	1.182 mm	944 mm	1.039 mm	1.556 mm	942 mm	919 mm	1.008 mm	947 mm	1.101 mm
Demanda total - 2025 (ANA)	9,54 m³/s	40,6m³/s	25,71%	16,76m³/s	9,79m³/s	26,41 m³/s	7,85m³/s	9,15m³/s	5,79m³/s

* Incluindo sistema misto;

**Exclusivamente em poços (Teresina utiliza poços de forma complementar, principal fonte hídrica é o rio Parnaíba com capacidade nominal de 2,5m³/s).

Elaborado pelo autor

Fonte: Elaborado pelo autor e adaptado de ANA (2010a), ANA (2010c).

Os dados de abastecimento regional estão descritos em termos médios, o volume de precipitação e evaporação intra-regional e intertemporal oscilam mediante os fenômenos climáticos e para uma mesma região hidrográfica podem apresentar diferenças. A região geográfica no Brasil que é mais afetada pelas secas é denominada de Polígono da Seca e está localizada no semiárido do Nordeste, inclui 1.989 municípios na área de atuação da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) descritos em (MI, 2005), as definições sobre características quanto a seca estão baseadas na precipitação, índice de aridez do solo, risco de seca.

Esse domínio é caracterizado pela pluviosidade inferior a 800 mm/ano, pela média de temperatura entre 23°C e 27°C, e por extensões drenadas por rios temporários e cobertas pela vegetação da Caatinga como descrito em Soares (2013). A vegetação da caatinga é típica nas partes do semiárido, especialmente, nos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas e Sergipe, estados com extensivas áreas de atividades agrícolas (MARENGO, BERNASCONI, 2015).

Outra informação relevante para os estudos de disponibilidade hídrica diz respeito as fontes de abastecimento em cada estado (superficiais, subterrâneas, mistas). Nesse sentido, cita-se o estado do Piauí que possui como principal fonte de abastecimento (78%) as águas subterrâneas. O estudo de Vasconcelos et al. (2014) mostrou que no estado do Piauí cerca de 70% dos municípios possuem aproximadamente até 100 poços inseridos em sua área, 24% possuem entre 100 e 300 poços e 6% possuem quantidades superiores a 300 poços, é o estado que possui a maior quantidade de poços cadastrados no Sistema de Informação de Águas Subterrânea (SIAGAS), uma relação de 123 habitantes por poço e mesmo assim o estado possui deficiência hídrica em muitos municípios.

Em relação as regiões hidrográficas, a região hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental como uma das mais populosas dentre as regiões hidrográficas do país, constitui-se de seis bacias (Jaguaribe, Litoral de AL, PE e PB, Norte do CE, Paraíba, Litoral do RN e PB, Piranhas-Apodi) em que, os estados da Paraíba e Rio Grande do Norte estão 100% contidos nessa região hidrográfica e o Ceará possui 97% do seu território nessa região e os sistemas atmosféricos¹³ que produzem precipitação significativa nessa região e atuam em regiões distintas podem se sobrepor nas mesmas épocas ou em épocas diferentes (MMA, 2006f).

A região hidrográfica do Atlântico Nordeste Oriental é a mais crítica, a média da relação entre vazão e população é inferior a 1.200 m³/hab.ano e caracteriza uma situação de estresse (500 a 1700 m³/hab.ano) e com comprometimento de 100% da disponibilidade em alguns trechos.

¹³ Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), as bandas de nebulosidade associadas as frentes frias, os distúrbios de leste, os vórtices ciclônicos de ar superior, as brisas terrestre e marítima e oscilações de 30-60 dias (MMA, 2006f).

Entretanto algumas subunidades, como Paraíba e Litoral e Alagoas, Pernambuco e Paraíba, encontram-se em situação de escassez (inferior a 500 m³/hab.ano) (MMA, 2006f).

A região hidrográfica do Parnaíba configura-se como uma das mais importantes para o abastecimento da região Nordeste do Brasil (Ceará, Piauí e Maranhão), suas águas atravessam diferentes biomas tornando diferenciadas as características hidrológicas de cada uma dessas regiões. A maior concentração populacional dessa região hidrográfica está situada nos municípios de Teresina, Parnaíba e a agricultura irrigada ainda não é significativa, apesar do grande potencial para a fruticultura (manga, coco, maracujá e banana) conforme descrito em MMA (2006g).

A região hidrográfica do São Francisco é formada por diversas sub-bacias que deságuam no rio São Francisco e representa cerca de 2/3 da disponibilidade de água doce do Nordeste (MMA, 2006h). Esta região hidrográfica está dividida em quatro regiões fisiografias (São Francisco Alto, São Francisco Médio, São Francisco sub-médio e São Francisco Baixo) e apresenta acentuados contrastes socioeconômicos, abrangendo áreas de acentuada riqueza e áreas de pobreza crítica com população dispersa (50% predominantes urbana) e 90% do total de municípios na bacia são de pequeno porte, inferior a 30 mil habitantes (MMA, 2006h).

O Rio São Francisco nasce na serra da Canastra, em Minas Gerais, atravessa a Bahia, Pernambuco e faz divisa natural com os estados de Alagoas e Sergipe. O projeto de integração do Rio São Francisco é a maior obra de infraestrutura hídrica do país dentro da Política Nacional de Recursos Hídricos. O projeto foi dividido nos eixos Norte e Leste e totalmente concluído deverá levar água para 390 cidades de quatro estados (Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte) (MI, 2014b).

A região hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental compreende 263 municípios do Maranhão (214) e Pará (49), incluídos parcial ou integralmente na região que compreende porções de vários ecossistemas. Os mais importantes são a floresta de transição entre os biomas Amazônico e Cerrado e dado às características singulares de riqueza natural e beleza cênica, as formações litorâneas do Maranhão e Pará correspondem a ecossistemas de relevante importância tanto para os estudos biológicos quanto para o desenvolvimento sustentável do ecoturismo. A irrigação na Região Hidrográfica tem pouco significado econômico. Porém, novas áreas na Sub-bacia do Munim, região de Chapadinha, estão sendo abertas para o cultivo da soja conforme descrito em MMA (2006i).

A região hidrográfica do Atlântico Leste, compreende os estados da Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Sergipe. Essa região pode ser caracterizada por quatro tipos básicos de clima: superumido, úmido, semiúmido e semiárido (MMA, 2006j). Na porção extremo-sul da região hidrográfica do Atlântico Leste, como o sul da Bahia e o norte do Espírito Santo, a irrigação cresce de forma expressiva como também se expande o cultivo de eucalipto para a produção de celulose, além do cultivo de frutíferas e da cana-de-açúcar (MMA, 2006j).

A região da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia apresenta clima tropical e dois períodos climáticos bem definidos: o chuvoso (Outubro e Abril) com mais de 90% de precipitação, e o seco (Maio a Setembro) com baixa umidade relativa do ar. A irrigação e o uso indiscriminado do solo para agricultura e pecuária têm desencadeado intensa atividade erosiva na região, principalmente na Bacia do Rio Araguaia, com isso, aumenta-se o aporte de sedimentos provocando assoreamentos e favorece a ocorrência de enchentes. A construção de hidrelétricas, a estruturação de hidrovias, a transposição de águas para a bacia do São Francisco e projetos de irrigação, muitas dessas atividades realizadas sem os devidos estudos técnicos, podem levar a perdas de qualidade e quantidade de água (MMA, 2006k).

Cada caderno sobre a hidrográfica brasileira apresentou diversas informações quanto as populações, precipitação, evaporação e condições das águas brasileiras por bacias e, são parte integrante do PNRH. Assim, a tabela 6 apresenta as características médias e gerais das bacias hidrográficas que abastecem a região Nordeste em uma tabela resumo descrita abaixo.

Tabela 6. Características das bacias hidrográficas que abastecem a região Nordeste.

	São Francisco	Atlântico Nordeste Oriental	Atlântico Nordeste Occidental	Tocantins-Araguaia	Parnaíba	Atlântico Leste
Urbanização média	74,40%	57% a 83%	24% a 71%	72%	43,8 % a 75,2%	
Disponibilidade hídrica m³/hab/ano (média)	5848,75	1137	15.958	6.457 - 316.988		211 – 13.557
Disponibilidade m³/s (Q95%)	1.077		328,22	2.550	17,20 - 320,20	0,94 - 79,04
Precipitação (mm)	693 (semiárido e árido) 1.372 (tropical úmido)		1700	1.869 – 2.565		921 - 1465
Evapotranspiração (mm)	1550 (semiárido e árido) 1000 (tropical úmido)	3000 no sertão do Atlântico	1482	1.371		808 - 1430 **
Precipitação real média (mm)	1.036	1.417,25			1.117	800-1200
Evapotranspiração real média (mm)	886				1.045	
Vazão média longo do tempo (m³/s)	3.037	779,02	2.683,05	13.624	763	
Vazão média anual mínima (m³/s)	637					
Vazão média anual máxima (m³/s)	4.999					
Densidade demográfica média na bacia	20 hab/km²	75 hab/km²	20,42 hab/km²	8,1 hab/km²	1,9 - 24,6* hab/km²	

*1,9 é a densidade (hab/km²) na bacia do Alto do Parnaíba (SUB 1) em Parnaíba 02 (Sub 2), a densidade de 24,6 ocorre no Baixo Parnaíba (Sub 1) Parnaíba 07 (Sub 2).

** A maior relação entre evapotranspiração e precipitação de 96% encontra-se na bacia Itapicuru- Paraguaçu (sub-bacia Itapicuru). Porém a disponibilidade per capita m³/hab. ano é de 1.308.

Fonte: Elaboração própria com base nas informações de MMA,2006f; MMA,2006g; MMA, 2006h; MMA, 2006i; MMA, 2006j; MMA, 2006.

No entanto, com a redução da disponibilidade hídrica (ex: seca plurianual iniciada em 2012 até 2015) acompanhada pela expansão das demais atividades econômicas (aumento da industrialização no Nordeste, serviços) elevaram o número de conflitos pelo uso da água na região conforme cita Martins e Magalhães (2015). Os conflitos pelo uso da água perpassam por motivos que vão desde a ameaça de expropriação, não cumprimento de procedimentos legais, destruição e ou poluição e impedimento de acesso à água gerado por barragens clandestinas, desvio do curso d'água entre outros. A tabela 7 mostra a evolução dos conflitos pelo uso da água nos estados do Nordeste.

Tabela 7. Conflitos pelo uso da água nos estados do Nordeste do Brasil entre 2006 e 2015.

UF	Evolução dos conflitos por UF no Nordeste									
	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Alagoas		2				3		2	2	1
Bahia	3	2	7	2	15	9	8	21	26	27
Ceará	2	4	6	5	8	2	4	4	1	2
Maranhão		2	1	3	8	4	8		4	5
Pernambuco	3	7	2	2	5	11	5	5	8	9
Piauí		3	1	3		1	1			2
Paraíba	1		2	1		2	2	3		
Rio Grande do Norte	2	4	2		2	1			1	
Sergipe	2							1		
Conflitos Nordeste	13	24	21	16	38	33	28	36	42	46
Brasil	45	87	46	45	87	68	79	93	127	135
Famílias envolvidas	1190	9806	8183	4393	14.518	8619	3880	4182	10412	9345

Fonte: Elaboração própria com base nos relatórios da CPT vários anos.

O número de famílias envolvidas nos conflitos no Nordeste atingiu 14.518 famílias em 2010, maior número de famílias envolvidas no período considerado. Diante das dificuldades em se obter consenso sobre as prioridades no uso da água muitos conflitos tornam-se evidentes, enquanto outros conflitos permanecem latentes ou implícitos, como o caso de barragens irregulares para o acesso a irrigação clandestina, fatos que são noticiados pela imprensa.

Algumas ações paliativas são observadas na região como a construção de açudes, abastecimento de água por caminhões que tendem a amenizar os impactos da seca. Porém, a perda na produção agrícola tradicional e no rebanho são elevadas. Assim, a seção seguinte apresenta o uso da água por grupos de atividades caracterizando os tipos de usos e as finalidades.

2.3. Caracterização Setorial Para o Uso Da Água

2.3.1. Tipos de uso da água e finalidades

O uso da água pode ser classificado como consuntivo e não consuntivo. O uso consuntivo diz respeito a água que pode ser utilizada na irrigação, para o abastecimento humano, animal ou industrial. Os usuários utilizam a água para inúmeras finalidades e seu uso é consuntivo quando somente parte de sua retirada é retornada ao curso do rio (TUCCI et al., 2001, MMA 2006b), do contrário trata-se de uso não consuntivo.

Barth (1987) fez uma classificação sistemática desses usos da água ao descrever as principais características e os efeitos sobre as águas. Assim, a Tabela 8 mostra um resumo do uso da água por derivação (também chamado de uso consuntivo) e sem derivação de águas (também chamado de uso não consuntivo).

Tabela 8. Classificação do uso da água por finalidade e possíveis usos.

COM DERIVAÇÃO DE ÁGUAS				
Finalidade	Tipos de Uso	Uso consuntivo	Requisitos de Qualidade	Efeitos nas águas
Abastecimento urbano	Abastecimento doméstico, industrial, comercial e público	Baixo de 10%	Altos ou médios, influenciando no custo do tratamento	Poluição orgânica e bacteriológica
Abastecimento industrial	Sanitário, de processo, incorporação ao produto, refrigeração e geração de vapor.	Médio, em torno de 20%	Médio variando com o tipo de uso e de indústria	Poluição orgânica, elevação de temperatura.
Irrigação	Irrigação artificial de culturas	Alto, de 90%	Médios, por tipo de cultura	Carreamento de agrotóxicos e fertilizantes
Aquicultura	Estações de piscicultura e outras	Baixo de 10%	Altos	Carregamento de matéria orgânica
SEM DERIVAÇÃO DE ÁGUAS				
Geração Elétrica	Acionamento de turbinas hidráulicas	Perdas por evaporação de reservatório.	Baixos	Alteração no regime e na qualidade das águas
Navegação Fluvial	Manutenção de calados mínimos e eclusas	Não há	Baixos	Lançamento de óleo e de combustíveis
Recreação, lazer	Natação e outros esportes	Perdas por evaporação	Altos	Não há
Pesca	Com fins comerciais	Perdas por evaporação	Altos, corpos de água, correntes lagos e reservatórios artificiais	Alteração na qualidade após mortandade de peixes

Fonte: Adaptado de Barth, 1987.

É possível observar que os efeitos nas águas são diferentes entre os tipos de uso e esses efeitos podem, em algum grau, prejudicar a qualidade da água que retorna ao curso do rio conforme descrito em Barth (1987). A água como uso não consuntivo se refere ao uso da água que retorna em

sua totalidade aos mananciais aos quais foi retirada, como no caso do uso nas usinas hidrelétricas, navegação e pesca.

No caso das hidrelétricas, mesmo que em termos de consumo de água o montante seja zero, não se pode desconsiderar que ao implantar novas usinas, alterações no curso natural de rios, mudanças na economia regional, alteram a qualidade dos recursos hídricos. As demandas por água tendem a se intensificar com o grau de desenvolvimento da sociedade, em quantidade e em qualidade, o que exigirá tratamento diferenciado para a gestão das águas. Assim, a subseção seguinte apresenta o uso da água nas principais atividades econômicas.

2.3.2. Uso da água na agropecuária e a evolução de áreas irrigadas por região

A agricultura irrigada é caracterizada como a mais intensiva no uso dos recursos hídricos. Dados da PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento) em PNUD (2003) relatam que é preciso cerca de 70 vezes mais água para produzir alimento do que para satisfazer as necessidades residenciais de uma família. Assim, em termos mundiais a agricultura consome cerca de 69% de toda a água derivada das fontes (rios, lagos, aquíferos subterrâneos, etc) e os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico (CHRISTOFIDIS, 1999).

Segundo a Estatística da Produção Agrícola reportada por IBGE (2017), a estimativa realizada para a safra nacional de cereais, leguminosas e oleaginosas para 2017, totalizou 230,3 milhões de toneladas, 25,1% superior à obtida em 2016 (184,0 milhões de toneladas). Nessa avaliação, o Mato Grosso liderou como maior produtor nacional de grãos, com uma participação de 25,3%, seguido pelo Paraná (18,3%) e Rio Grande do Sul (14,8%), que, somados, representaram 58,4% do total nacional previsto.

Em relação as contas regionais do Brasil, o estudo de IBGE (2016) informou que a participação da agricultura no valor adicionado bruto na região Norte foi de 8,6 %, na região Nordeste foi de 17,9%, de 24% na região Sudeste, 28,7% na região Sul e 20% na região Centro-Oeste, o que indica a importância do setor para a economia brasileira (IBGE, 2016) em todas as regiões.

No mundo, uma área da ordem de 1,541 bilhão de hectares está ocupada pela produção agrícola, dos quais cerca de 277 milhões de hectares sob o domínio de infraestrutura hídrica de irrigação, sendo que essa área de 18% sob cultivo irrigado é responsável por cerca de 44% da produção total agrícola (MMA, 2006a). Porém, um dos desafios para o avanço das áreas irrigadas no Brasil consiste em garantir outorgas de água compatíveis com solos aptos à irrigação, oferta hídrica regional e infraestrutura para adequar a demanda a oferta de água e garantir a segurança alimentar futura.

São inúmeros os trabalhos na agricultura irrigada que abordam questões relacionadas a importância de melhorar a eficiência da irrigação e no controle do desperdício no campo em busca de eficiência (Silva Paz et al. 2000; Silva et al. 2011, Coelho, Coelho Filho e Oliveira, 2005; Christofidis, 2006; MMA, 2006a; Christofidis, 2013), com aspectos de dinâmica hídrica e o desenvolvimento sustentável na agricultura irrigada.

Por exemplo, em Christofidis (2006), a expansão da irrigação encontrará obstáculos pelas dificuldades de obter água em quantidades suficientes para atender as áreas existentes e novas projetos diante da demanda futura de alimentos que se elevará com o crescimento populacional. Nesse sentido, Bruinsma (2009) destacou que o cenário esperado para 2030 é de uma demanda por alimentos 50% maior que a atual, com isso a necessidade de recursos hídricos deverá se elevar.

Cabe destacar que o aumento na produção de alimentos não advém somente da expansão das áreas agrícolas, mas também do aumento da produtividade, que pode ocorrer devido a irrigação como mostra os estudos de (Silva Paz et al. 2000; Guerra et al. 2003) e do uso de fertilizantes como destacou o estudo da Fiesp (2015) em projeções para 2025.

No estudo da FIESP (2015), os autores utilizaram o ano de 2017 como o ano de retomada do crescimento econômico no Brasil e no mundo e estimaram projeções de áreas e produtividades por cultura e região, sendo a demanda esperada no uso dos fertilizantes um propulsor do crescimento da produtividade. Assim, a tabela 9 ilustra o resultado das projeções para a participação regional das culturas por grande região do país.

Tabela 9. Participação regional na produção das principais culturas segundo dados da FIESP (2015).

Safr/ Cenário	Participação regional das culturas na produção Fiesp (2016)			
	Algodão Safr 25/26	Arroz Safr 25/26	Café Safr 25/26	Cana de Açúcar Safr 25/26
Norte	2%	10%	3%	1%
Nordeste	38%	3%	4%	7%
Sudeste	1%	0%	91%	65%
Sul	0%	81%	2%	5%
Centro-Oeste	59%	5%	1%	22%

Elaborado pelo autor e adaptado de FIESP (2016).

Segundo o estudo, entre as safras de 2014/15 e a safra 2024/25, a produção e produtividade das culturas aumentariam diante de fatores como crescimento populacional, crescimento econômico, renda, entre outros. Assim, os resultados mostraram que a expansão na produção do algodão seria de +42% e de +24% na produtividade, o arroz se expande em +11% na produção e +28% na produtividade, café com + 32% de aumento na produção e +34% na produtividade e a produção na

cana-de açúcar seria de +24% e a produtividade de +14% (FIESP, 2015). Porém, se houver falta de água na fase crítica de enchimento (acumulo de reserva do grão) implicará em menor tamanho e peso dos grãos e rendimento menor ao agricultor.

O Brasil tem avançado na agricultura irrigada. Porém, os dados não são coletados anualmente e há divergência informacional e metodológica entre os censos agropecuários¹⁴. Entretanto, fornecem um panorama regional da produção de alimentos, estabelecimentos agropecuários, nível de instrução da população rural (Loiola e Souza, 2001; Christofidis, 2002; Helfand e Brunstein, 2003; IBGE, 2009), que direcionam as pesquisas e auxiliam na compreensão dos fatos.

As estimativas da Agência Nacional de Águas (ANA) relatam um aumento de 46% entre 2006 e 2012, aproximadamente 5,8 milhões de hectares naquele ano (ANA, 2013). Entre os anos de 2006 e 2012 as maiores áreas irrigadas, em percentual, ocorreram nas regiões de São Paulo 241.453 (31%), Minas Gerais 294.905 (56%), Bahia 154.939 (50%), Tocantins 104.508 (244%). Assim, a tabela 10 mostra essa evolução das áreas irrigadas por região em hectares e a mostra o resultado desse crescimento em variação percentual comparativa a 1985.

Tabela 10. Áreas irrigadas por grande região em hectares e variação percentual comparativa ao ano de 1985.

	1985 (a)	1995-96 (b)	1985-96 (%)	2006 (c)	1985-2006 (%)	2012 (d)	1985-2012 (%)
Nordeste	366.826	751.891	105%	1.007.657	175%	1.238.734	238%
Norte	43.242	83.023	92%	109.582	153%	205.123	374%
Sudeste	599.562	929.189	55%	1.607.680	168%	2.200.567	267%
Centro-Oeste	63.218	260.953	313%	581.801	820%	861.015	1262%
Sul	886.962	1.096.592	24%	1.238.812	40%	1.291.634	46%
Total	1.959.810	3.121.648	59%	4.545.532	132%	5.797.073	196%

Elaborado pela autora.

Fonte: a) IBGE (1991); b) IBGE (1998); c) IBGE (2009); d) ANA (2013).

O estado do Tocantins é o maior produtor de arroz da região Norte e a irrigação é praticada, principalmente, nas chamadas terras baixas ou várzeas dos vales dos rios Araguaia e Tocantins. Na safra de 2014 foram produzidas mais de 540 mil toneladas no estado do Tocantins (CONAB, 2015) e a produção atingiu 9,835,316 (toneladas) nos três estados (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins), o que corrobora a importância econômica dessa cultura nessas regiões.

A região Centro-Oeste destacou-se com crescimento de 1262% entre 1985 e 2012, o que pode ter sido influenciada por políticas comerciais e agrícolas que se iniciaram na década de 70 como ressaltou Helfand e Resende (2000). Outros destaques deste crescimento estão na implantação

¹⁴ Principal fonte informacional sobre a agropecuária no país.

de sistema de produção impulsionado por linhas de financiamento específicas, transporte, irrigação, extensão territorial, custo das terras. Com esse avanço, a região aumentou sua participação no PIB agropecuário nacional, que passou de 7,4% em 1970 para 19,5% em 2009 conforme destacou Castro (2014).

Nos estados da Bahia e de Pernambuco, a fruticultura irrigada permitiu o desenvolvimento de polos regionais de produção e exportação (Correia et al 2001; Leite et al, 2016). Os estados da Bahia, Pernambuco e Ceará apresentaram os maiores PIB regionais em 2014 entre os estados do Nordeste, com valores de R\$ 223.930, R\$155.143 e de R\$126.054 (em milhões de reais) respectivamente. O maior crescimento observado no valor bruto adicionado entre 2010-2014 foi para o estado do Ceará, que no total cresceu 13,8% em 2014 comparado a 2010 e a agricultura 14,3% conforme descrito em IBGE (2016).

Nesse sentido, a tabela 11 apresenta a evolução dos hectares irrigados para os estados pertencentes a região Nordeste do país.

Tabela 11. Crescimento em hectares irrigadas nos estados da região Nordeste do Brasil.

UF	1985 (a)	1995/96 (b)	IBGE (2009) 2006 (c)	MMA (2011a) 2006 (d)	ANA (2012) (e)
Alagoas (AL)	27.814	156.996	195.764	416.101	222.684
Bahia (BA)	107.054	209.705	312.668	240.249	467.607
Ceará (CE)	67.304	108.998	117.381	99.657	133.336
Maranhão (MA)	24.034	16.521	64.059	42.083	43.681
Paraíba (PB)	18.895	63.548	58.683	81.027	65.522
Pernambuco (PE)	83.456	118.400	152.917	253.629	183.912
Piauí (PI)	13.560	18.254	30.948	22.200	34.225
Rio Grande do Norte (RN)	17.588	45.778	54.716	55.442	62.165
Sergipe (SE)	7.121	13.691	20.521	17.320	25.602
Total Brasil	1.959.810	3.121.648	4.545.532	4.478.586	5.797.073

Elaboração própria com base nos dados: a) IBGE (1991); b) IBGE (1998); c) IBGE (2009); d) MMA (2011a); (e) ANA (2013).

Nota: a Coluna 2006 (c) represente as áreas irrigadas informadas pelo Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009) e a coluna 2006 (d) representa as áreas irrigadas informadas no relatório do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011a).

Nessa tabela, é possível observar diferença entre os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2009) e de MMA (2011a). Os dados estimados por MMA (2011a) utilizaram informações de dados de área colhida e irrigada a partir das informações contidas no Censo Agropecuário de 2006.

As divergências entre as bases de dados de área irrigada foram identificadas e as diferenças foram reportadas ao IBGE, que esclareceu que para garantir o sigilo dos dados, quando a unidade territorial continha menos de 3 informantes, os valores foram informados com o caractere X, não

havendo, portanto, a possibilidade de se totalizar as informações apresentadas com estes valores, o que poderia justificar as diferenças encontradas por cultura e unidades territorial MMA (2011a).

Como alternativa a esse problema, os autores de MMA (2011a) utilizaram o método proposto por ONS (2005) para a obtenção da área irrigada com os dados do Censo Agropecuário de 2006. Nesse sentido, ao comparar os dados de área irrigada disponibilizados pelo Censo Agropecuário de 2006 em IBGE (2009) com os dados do relatório final dos Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos das Atividades Industrial e Agricultura Irrigada em MMA (2011a), constatou-se diferenças nos estados de Alagoas e Pernambuco, em especial, o que pode impactar consideravelmente nas simulações propostas.

A agricultura irrigada avançou nos estados do Nordeste. Por exemplo, entre os municípios de Juazeiro, na Bahia e, Petrolina, em Pernambuco, desenvolve-se importantes polos da agricultura irrigada do Nordeste, onde são cultivados o tomate e frutas como uva, sementes de frutas, polpas de frutas (CODEVASF, 2010).

Segundo Buainain e Garcia (2015), os polos públicos de irrigação estão sob a responsabilidade do DNOCS (Departamento Nacional de Obras Contra as Secas) e da Codesvaf (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba) e ocupavam 190,8 mil hectares (63% Codevasf e 37% Dnocs), embora cerca de 161,3 mil hectares estavam em uso pela agropecuária em 2013, ocupando mais de 300 mil pessoas. Entretanto, em torno de 140,9 mil estabelecimentos agropecuários do Nordeste informaram que usaram algum sistema de irrigação na produção, o que alcançaria pouco mais de 1 milhão de hectares irrigados em 2006 (IBGE, 2009).

Mesmo com o avanço nas áreas irrigadas ao longo das décadas, o percentual de áreas irrigadas por região ainda é relativamente baixo (Figura 4). Assim, as culturas da lavoura permanente são separadas no censo agropecuário de 2006 em estabelecimentos com mais de 50 pés plantados dos estabelecimentos com menos de 50 pés. Porém, os dados de área irrigada foram contabilizados para os estabelecimentos com mais de 50 pés (IBGE, 2009). No caso da área irrigada para a lavoura temporária os dados de área irrigada foram comparados com os hectares de área colhida, que pode ser menor ou igual a área plantada.

O estado de Roraima foi o que apresentou maior percentual de área irrigada na cultura temporária, aproximadamente 39% (12.652 hectares irrigados de 32.405 hectares de área colhida). O elevado percentual de área irrigada em uma região não implica necessariamente em uma grande área irrigada, como mostra os dados para o estado de Tocantins, que apresentou 26% de área irrigada nas lavouras permanente (1.162 hectares irrigados de 4.365 hectares plantados). A tabela que reporta esses e demais valores da figura 4 estão no apêndice A. tabela A.1.

Figura 4. Área irrigada em relação a área plantada por estado e região, segundo o censo agropecuário de 2006.

Fonte: Elaborado pela autora a partir dos dados IBGE, 2009.

Os estados do Piauí (37,61%), Paraíba (29,38%), Pernambuco (46,19%) apresentaram maiores áreas irrigadas na lavoura permanente na região Nordeste. Os estados de Pernambuco e Alagoas também continham os maiores percentuais de área irrigada na lavoura temporária, Pernambuco com 272.905 hectares irrigados colhidos de 1.315.253 hectares plantados (20,75%) e Alagoas com 418.086 hectares irrigados de 1.394.361 hectares plantados (29,98%).

O estado do Rio Grande do Sul é o de maior área irrigada entre os estados no país e apresentou área irrigada de 1.070.605 hectares na lavoura temporária (7.171.814 hectares plantados)

e de 7.098 hectares irrigados na lavoura permanente (134.837 hectares plantados). O arroz irrigado é a principal cultura no estado continha 854.650 hectares irrigados segundo o censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2009).

Existe uma diferença nas áreas irrigadas (hectares) que foram discriminadas na tabela 11 e na figura 4. No caso da figura 4 a soma das áreas irrigadas nas lavouras temporárias e permanentes é superior aos dados reportados na tabela 11 devido a troca de culturas na lavoura temporária que pode utilizar a mesma área e sistema de irrigação¹⁵.

Portanto, a Figura 5 mostra o percentual de área irrigada em relação a área plantada e colhida das principais culturas total no Brasil. Assim, a figura 5A, mostra a relação entre o percentual de irrigação por área colhida nas principais culturas permanentes do país segundo o Censo de 2006. A figura 5B, mostra o percentual de irrigação por área plantada nas principais culturas permanentes do país segundo o Censo de 2006 e a Figura 5C mostra a relação de área irrigada e área colhida na cultura temporária por grandes regiões no país.

A área plantada na cultura permanente foi de 5.038 milhões de hectares e na cultura temporária foi de 50.234 milhões. Assim, para os produtos da lavoura permanente com mais de 50 pés existentes, cerca de 15% da área total plantada utilizou algum tipo de método de irrigação. As maiores áreas irrigadas concentraram-se entre as culturas de laranja e café (Café *Canephora* e Café *Arábica*) e totalizou cerca de 496 mil hectares irrigados para essas duas culturas de um total de 772.699 hectares irrigados na lavoura permanente (IBGE, 2009).

O percentual elevado para a cana de açúcar irrigada na região Norte não representa área irrigada elevada. A região Norte contava com 18.922 hectares plantados de cana e desses, 13.939 hectares utilizou algum método de irrigação. Cerca de 10% das culturas da lavoura temporária também utilizou algum método de irrigação. As maiores áreas colhidas foram da cana-de-açúcar com 1.713.909 hectares irrigados de um total de 5.676.881 hectares colhidos (30%), seguido pelo arroz com 1.136.308 hectares irrigados de um total de 2.414.789 hectares colhidos (47%).

¹⁵ Essas diferenças podem ser consultadas nas tabelas 825 (lavoura temporária) e 855 (área total irrigada) em IBGE (2009).

Figura 5. Relação entre a área irrigada e área plantada ou colhida segundo o Censo Agropecuário de 2006.

OBS: A) Percentual de área irrigada/área plantada na cultura permanente no Brasil e B) área irrigada/colhida da cultura permanente no Brasil e C) percentual da área irrigada/área colhida na cultura temporária nas grandes regiões.

Fonte: Elaborado pela autora com base no IBGE, 2009.

Ressalta-se que, diante das diferenças climáticas e tipos de solo, as regiões produzem culturas que melhor se adaptam a economia regional, hábitos e técnicas existentes. Nesse sentido, não existe um sistema de irrigação ideal capaz de atender a todas as condições de solo, econômicas, clima, etc. Assim, a Figura 6 mostra a área dos estabelecimentos (hectares) por técnica de irrigação, segundo dados do Censo Agropecuário de 2006.

Figura 6. Área dos Estabelecimentos Agropecuários com uso de irrigação (hectares), 2006.

Fonte: Elaborado pela autora com base nos dados do IBGE, 2009.

Nota: Aspersão (a) = Aspersão por pivô central, Aspersão (b) = Aspersão convencional e por outros métodos, Localizado = gotejamento, microaspersão, outros.

A técnica de inundação, especialmente utilizada na produção do arroz, é especialmente praticada na região Sul e as técnicas de aspersão¹⁶ também são as mais utilizadas no país e podem ser utilizadas na produção de feijão, soja, trigo, sorgo, entre outras culturas. A incorporação de áreas dominadas pelo método de irrigação localizada (gotejamento, micro aspersão) elevou-se de 112.730 hectares em 1996 para cerca de 338 mil hectares em 2003/04 e no Nordeste o índice de expansão de sistemas de irrigação localizada permitiu ampliar a cobertura para uma superfície de 177 mil hectares (CHRISTOFIDIS, 2005, MMA 2006a).

Segundo dados da ANA e Embrapa (2013b) foram identificados no Brasil aproximadamente 18 mil pivôs centrais ocupando uma área de 1,18 milhão de hectares, o que representou um aumento de 32% em relação ao Censo Agropecuário de 2006. O estudo também destacou a concentração da área ocupada por pivôs centrais no país em quatro regiões principais: Minas Gerais (31%), Goiás (18%), Bahia (16%) e São Paulo (14%), nas bacias dos rios São Francisco, Paranaíba, Grande e Paranapanema – cerca de 350 mil, 300 mil, 100 mil e 90 mil hectares irrigados por pivôs respectivamente, refletindo o avanço na agricultura irrigada no Brasil e a ampliação do uso dos recursos hídricos no país.

¹⁶ Existe diferentes sistemas, como o convencional, autopropelido e principalmente o pivô central.

Além do uso da água na agricultura irrigada, os estudos tendem a destacar com menor intensidade o uso na pecuária. No geral, existem metodologias diversas para o cálculo do uso da água na pecuária que relaciona a necessidade de água para a manutenção da vida animal (ENGECORPS, 1998; ONS, 2003; ONS, 2005; COPPETEC, 2001) e o cultivo de alimentos usados por estes.

O estudo da MMA (2006a) destacou que os desafios do setor estão associados a manutenção do rebanho vivo e seu desenvolvimento para atingir peso e condições ideais de abate. Porém, com o avanço desordenado sobre novas áreas através de desmatamentos, as bases hídricas regionais tornam-se prejudicadas.

A região Centro-Oeste é a região de maior participação na criação de rebanhos bovinos e outros animais vivos, a criação passou de 61.574.246 cabeças em 2000 para 75.042.624 em 2015 (+22%). A região Sul se destaca na produção de suínos e aves, com 49,28% e 45,42% de participação regional no total da produção nacional em 2015, o que representou crescimento de 48% na produção de suínos vivos (passou de 13.452.029 cabeças em 2000 para 19.875.316 cabeças em 2015), e 59% na produção de aves vivas (de 379.831.270 cabeças em 2000 para 604.937.587 em 2015) segundo dados da Pesquisa Pecuária Municipal (PPM) (IBGE, 2000; IBGE, 2015).

Entre os anos 2000 e 2015 houve crescimento de 24% na criação de Bovinos e outros animais vivos, 28% na criação de suínos e 58% na criação de aves vivas. Cabe destacar que os principais impactos ambientais identificados na criação dos animais dizem respeito a erosão do solo, carga de resíduos orgânicos, gases de efeito estufa (Tucci, Hespanhol e Cordeiro Netto, 2001) e segundo dados da Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carnes (ABIEC, 2016) o Brasil com cerca de 167 milhões de hectares ocupado por pastagens (cerca de 20%) do território nacional, em que, a maior parte do rebanho 209 milhões de cabeças são criadas no pasto.

Na falta de chuva as pastagens podem ser irrigadas para atender as necessidades alimentares básicas dos animais e com o avanço na criação dos rebanhos o uso da água por animal vivo se reflete na ampliação do uso dos recursos hídricos no país. Assim, a falta de conhecimento sobre o impacto da pecuária sobre os recursos hídricos pode comprometer a expansão da atividade no país.

A falta de água para dessedentação dos animais tem como consequências a redução do crescimento que resulta em consideráveis impactos negativos nos fatores zootécnicos e econômicos. Segundo Embrapa (2013a) ainda há carência de informações relacionadas ao consumo de água para cada espécie animal, principalmente para os sistemas produtivos em condições tropicais, atualmente a forma mais simples e de baixo custo para a medição dos consumos é pela instalação de hidrômetros.

O estudo também relata a existência de várias fontes de água e todas são passíveis de uso para dessedentação animal, apresentam vantagens e desvantagens quanto ao tipo de fonte e regimes de chuva. Além disso, deve-se considerar que as perdas de água pelos animais são influenciadas pela

atividade, temperatura, umidade do ar, frequência respiratória entre outros, todos esses fatores são resultados do manejo ao qual os animais são submetidos e assim, a educação e internalização de uma cultura hídrica são indispensáveis para a manutenção do meio ambiente (EMBRAPA, 2013a).

2.3.3. Uso da água na indústria brasileira

Estudos ao longo do tempo discorrem sobre a ideia da necessidade da água no atendimento as necessidades empresariais. Nordell (1961), por exemplo, descrevia que a vazão e pressão de água deveriam ser suficientes para atender as demandas e possibilitar o desenvolvimento de atividades humanas sem as constantes ameaças de racionamento e interrupção das atividades econômicas.

A distribuição e utilização dos recursos hídricos está intrinsicamente ligada a fatores como capacidade de produção, métodos, nível tecnológico, práticas operacionais, cultura empresarial e condições climáticas as quais as firmas estão sujeitas na sua região operacional.

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), a identificação do nível tecnológico das firmas de um mesmo segmento corrobora para o entendimento das diferenças na utilização da água durante o processo produtivo. Indústrias mais novas tendem a utilizar tecnologias mais modernas que exigem menos manutenção e consumo de água. Assim, para indústrias do mesmo ramo de atividade e com a mesma capacidade de produção, mas com níveis tecnológicos distintos, o consumo de água não será o mesmo no processo produtivo.

O sistema industrial atualmente conta com uma série de normas e licenciamentos que regulamentam os diversos setores da economia quanto ao licenciamento ambiental, padrões de efluentes, toxicidade, entre outros, como a resolução nº 54 de 2005 (reuso de água potável), que estabelece os critérios gerais para a prática do reuso direto não potável de água, sendo definidas cinco modalidades de reuso de água. A discussão sobre os usos da água na indústria gera pesquisas que buscam como melhorar a eficiência desse uso no ambiente empresarial, minimizando o impacto ambiental oriundo dos efluentes industriais não tratados.

Segundo a Federação das Indústrias do estado do Rio de Janeiro - FIRJAN (2007) a indústria nacional está submetida a dois grandes instrumentos de pressão. De um lado, as imposições do comércio internacional pela melhoria da competitividade e, de outro, as questões ambientais e as recentes condicionantes legais de gestão de recursos hídricos. Dependendo da disponibilidade hídrica, reusar, na medida do possível, os seus próprios efluentes após o tratamento adequado é uma saída importante para a crise hídrica enfrentada em muitos estados brasileiros.

Segundo MMA (2006I), as demandas por água para fins industriais no Brasil têm sido estimadas de modo indireto, pois não há cadastros completos e confiáveis de usuários de água que

possam retratar, em termos de nação, valores precisos. Essa estimativa é feita de forma amostral, visto que, o sistema de outorga ainda é insipiente na maioria dos estados brasileiros (pouco mais de 20% dos estados) possuem de forma sistemática e organizada um sistema de outorga. A tabela 12 apresenta segundo MMA (2006l) os principais usos da água na planta industrial.

Tabela 12. Usos da água nas diversas plantas industriais em percentual.

SEGMENTO INDUSTRIAL	Resfriamento sem contato (%)	Processos e Atividades Afins (%)	Uso sanitário e Outros (%)
Laticínios	53	27	19
Bebidas Maltadas	72	13	15
Indústria têxtil	57	37	6
Fábricas de celulose e papel	18	80	1
Gases Industriais	86	13	1
Produtos Químicos inorgânicos	83	16	1
Metais plásticos e resinas	93	7	
Borracha Sintética	83	17	
Tintas e pigmentos	79	17	4
Produtos químicos orgânicos	91	9	1
Fertilizantes nitrogenados	92	8	
Refinaria de petróleo	95	8	
Pneus	81	16	3
Cimento	82	17	1
Aço	56	43	1
Fundição de ferro e aço	34	58	8
Alumínio primário	72	26	2
Automóveis	28	69	3

Fonte: MMA, 2006l.

É possível observar que com exceção de fábricas de celulose e papel e automóveis, o maior uso da água nas indústrias citadas é com resfriamento sem contato para todas as atividades, a menor parcela do uso está relacionada a sanitários e outros. MMA (2006l) destacou que o Brasil é um verdadeiro laboratório para o ensaio da possibilidade do desenvolvimento sustentável e também um desafio para a indústria.

Uma das características da atividade industrial é que estas podem optar entre a captação de água por conta própria (captação direta) ou a conexão de água por rede pública. Segundo o relatório da pesquisa de campo sobre o uso industrial da água, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, cerca de 52 % dos estabelecimentos utilizava exclusivamente água da rede pública, (33%) e se abastece apenas de captação própria, enquanto que 15% recorrem as duas formas. A escolha entre captação própria ou de rede pública pode estar associada ao porte da empresa (Féres et al. 2005).

Segundo Rebouças et al. (2002), o setor industrial é responsável por cerca de 22% do uso mundial de água, nos países desenvolvidos esse índice é de 59%, sendo de apenas 8% nos países não desenvolvidos. Existe uma série de metodologias que são aplicadas a situações diversas a gestão dos recursos hídricos e, que estimam o uso da água nas indústrias e facilita a formulação das políticas públicas.

O manual de outorga da ENGECORP (1998), por exemplo, é utilizado para a avaliação de projetos industriais e apresenta dados de índice de consumo de água para alguns segmentos industriais de grandes e médios portes. Porém, os dados estão defasados (mudança tecnológica não considerada na tabela) e algumas fontes informacionais não são conhecidas.

A Nota Técnica 013/SPR/2003 descrito em ANA (2003) e o documento Disponibilidades e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil e utiliza os dados disponíveis sobre o uso da água em diferentes municípios para estimar a demanda *per capita* das pessoas que estão ocupadas na indústria para as diferentes regiões. Porém, esse cálculo restringe o uso da água no processo produtivo, por exemplo: de indústrias de laticínios, refrigerantes, produtos de limpeza.

O estudo de MMA (2006l) apresenta as informações sobre o uso da água na indústria com base na metodologia de ANA (2005). Nesse caso a base de dados também é restrita pois correlaciona o uso da água com o número de pessoas empregadas. Outros estudos buscam quantificar o uso da água na indústria, mas todos apresentam limitações como os descritos acima.

Lisboa (2010) fez um levantamento de dados sobre os coeficientes de retirada, da geração de efluentes e consumo por produto em metros cúbicos por unidade produzida, o que possibilitou o cálculo dos coeficientes técnicos da água utilizados na indústria. Com base nesses dados o estudo estruturou as informações por tipologia da indústria, o que permitiu contemplar dados para 148 empresas representadas em 51 tipologias.

Apesar da crescente preocupação com o impacto nos recursos hídricos, estudos sobre o uso da água nos diferentes tipos de indústrias ainda é incipiente e necessita de avanços no cadastro de outorgas e na disponibilidade de dados confiáveis para a consolidação das pesquisas futuras.

2.3.4. Uso da água no comércio, serviços e domicílios

Segundo Mierzwa e Hespanhol (2005), cada indivíduo necessita de 2,5litros/dia de água para satisfazer as necessidades vitais e essa água para o consumo humano deve ser priorizada. O uso da água residencial é essencial para as atividades metabólicas, de higiene pessoal e para o preparo dos alimentos. Porém, apenas uma pequena parte realmente é utilizada para consumo humano.

As características físicas, químicas e biológicas devem estar dentro de padrões de potabilidade, garantias de que a saúde humana não será afetada (Mierzwa e Hespanhol, 2005). Estima-se que os investimentos em água potável e saneamento básico direcionam um caminho para o crescimento econômico com altas taxas de retorno, para cada dólar investido, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estimou retorno de US\$ 3,34, dependendo da região e tecnologia (WWAP, 2009).

Aproximadamente um bilhão de pessoas carece de acesso a um abastecimento de água que possa fornecer 20 litros por pessoa por dia. Anualmente, a ONU Água e as agências parceiras do Sistema ONU, publicam o Relatório de Desenvolvimento Mundial da Água (WWDR), para analisar os dados e tendências que afetam os recursos mundiais de água doce. Para atender às metas relacionadas à água, a assembleia geral proclamou a década internacional de ação, denominada de Água para a Vida, que compreendeu o período de 2005 até 2015 (ONUBR, 2015), entre os objetivos da década, concentrar a atenção do mundo no inovador capacitando o trabalho realizado por aqueles que implementam programas e projetos de água, parcerias públicas e privadas e a participação das mulheres na água e no saneamento foram destaques.

Segundo o relatório *World Water Assessment Programme* em WWAP (2016), a urbanização acelerada e o aumento dos padrões de vida tendem a aumentar a procura de água, de alimentos (especialmente de carne) e de energia, considerando uma população mundial cada vez maior, essa nova demanda conduzirá inevitavelmente à criação de postos de trabalho em determinados setores (tratamento de águas residuais urbanas) e à perda de empregos em outros. A escassez de água limitará as oportunidades de crescimento econômico e de criação de empregos dignos nos próximos anos e décadas.

Entre 2011 e 2050 a população mundial deverá aumentar em 33%, passando de 7 bilhões para 9,3 bilhões, além disso projeções mostram que as populações que vivem em áreas urbanas praticamente dobrem, passando de 3,6 bilhões em 2011 para 6,3 bilhões em 2050 (UNDESA, 2011). O Brasil em 2010 apresentou uma população de aproximadamente 190,7 milhões de pessoas (IBGE, 2010) e desse total, 84% residiam em áreas urbanas. Um número maior de pessoas nas áreas urbanas exige maiores investimentos em saneamento, distribuição de água e a produção de alimentos.

O crescimento demográfico implica em dois problemas graves futuros, o risco de escassez por aumento da demanda e da escassez de qualidade devido à contaminação da água, disponível descritos em Tucci (2001). Embora o crescimento populacional tenha sido expressivo entre o século XX e início do século XXI, as taxas geométricas anuais de crescimento apresentam declínio desde a década de 1950 e a taxa de fecundidade da mulher passou de 6 filhos em 1960 para menos de dois filhos em 2000 aponta Carmo et al. (2014).

A mudança na estrutura populacional sobre o consumo de água gera impactos diversos que estão associados a poluição na água, emissão de gases de efeito estufa, entre outros fatores que são analisados no contexto da dinâmica demográfica e dos níveis regionais de concentração que refletem o padrão de consumo ao longo do tempo.

No caso do consumo residencial pode-se analisar que a água que passa pelo hidrômetro, uma parcela insignificante serve para o consumo humano, seja por ingestão direta da água ou por meio das refeições; outra parcela é utilizada para lavagens de calçadas e carros, jardins, e essa água é incorporada à galeria pluvial ou se dissipa na natureza. Com isso, o coeficiente de retorno varia com fatores locais associados às residências, clima, cultura, etc. O valor recomendado pela Norma Brasileira (NBR 9649/1986) na falta de dados obtidos em campo o coeficiente de retorno da água no consumo humano é de 0,8, valor também utilizado por ONS (2003).

Outra fonte de aumento no uso da água residencial, comercial e de serviços é a elevação da renda *per capita* na região. Sawyer (2002) descreve que o crescimento econômico das famílias ao longo do tempo afeta diretamente as mudanças nos padrões de consumo de água. A ampliação do poder aquisitivo das famílias se reflete no aumento do acesso a bens de consumo residencial (bens duráveis) que também é variável que impulsiona o crescimento produtivo do país.

Mudanças nos padrões de consumo das famílias também são avaliados em Torres et al. (2006). O estudo foca as regiões metropolitanas do país e destaca que o aumento do acesso a bens e serviços entre 1995 e 2004 está associado a políticas sociais e de transferência de renda. Após 2004 com a implantação do plano real, que promoveu uma maior estabilidade inflacionária e econômica, as regiões passaram a apresentar melhorias na renda média e associar está a mudanças no padrão de consumo de água tornou-se mais coerente.

Como descrito em Carmo et al (2014), uma correlação positiva e significativa entre renda e consumo de água foi estimada, e as capitais com renda *per capita* menor apresentaram menor consumo de água ao se comparar as capitais de maior renda *per capita*.

As pesquisas associadas ao perfil de consumo de água residencial e usos finais tende a ser exploratória e elaborada no âmbito regional, o que, diante das diferenças de renda faz com que o padrão de consumo de água torne-se variável no tempo e no espaço.

Um dos primeiros trabalhos nesse sentido, foi o estudo de Thackray et al (1978) para as cidades inglesas de Malvern e Mansfield, o estudo considerou desde anotações manuais como leituras de hidrômetros, anotações feitas por moradores e dados laboratoriais (volume de água gasto nos sanitários). Os principais resultados apontaram que a descarga na bacia e o banho de banheira representavam maior percentual no uso da água nas duas cidades (em média 30% e 14%).

O estudo de Barreto (2008) para residências localizadas na zona oeste de São Paulo, mostrou que o chuveiro representou -13,9% do consumo total da residência seguido sucessivamente da torneira de pia, 12,0%; máquina de lavar, 10,9%; tanquinho, 9,2%; torneira de tanque com saída para máquina de lavar, 8,3%; por exemplo. Segundo Barreto (1999), em meados dos anos 90, quando iniciou-se a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) foi realizado um estudo para o levantamento do consumo de água em aparelhos sanitários e o local de pesquisa foi o próprio prédio da Sabesp, estudaram-se as torneiras e bacias sanitárias identificando que a bacia sanitária com válvula de descarga apresentou maior volume de uso 7,90 litros enquanto que a bacia sanitária com caixa acoplada apresentou volume de 5,87 litros.

O crescimento populacional associado a concentração regional pode gerar um grave problema para a qualidade da água em relação a descarga (retorno) que é lançada novamente no meio ambiente. Segundo Tundisi e Matsumura-Tundidi (2010), a água sem o devido tratamento chega aos rios e represas que abastecem as cidades e irrigam as plantações em situação não adequadas e poluem cada vez mais o meio ambiente.

No Brasil, segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008 (IBGE, 2010) a coleta de esgoto atinge 44% dos 57,7 milhões de domicílios do País, na região Sudeste (69,8%) dos domicílios tinha acesso à rede, Centro-Oeste (33,7%), Sul (30,2%). E as piores regiões para a cobertura são as regiões Nordeste (22,4%) e Norte (3,8%).

Cabe ressaltar que as atividades de comércio e serviços são basicamente compostas pela atividade humana e usos como banho, piscina, lavagem de roupa, são inexistentes nessas atividades. Porém, demais usos como: bacias sanitárias, lavabos devem ser considerados. Apesar da melhoria da modelagem e da capacidade de computação, quantificar potenciais aumentos na procura de água e déficits hídricos resultantes são extremamente difíceis.

2.4. Modelos Computáveis De Equilíbrio Geral Aplicados Aos Recursos Hídricos

A literatura recente tem buscado analisar e propor caminhos para a solução e/ou amenização dos conflitos no uso dos recursos hídricos que torne a gestão mais eficiente. Assim, os modelos computáveis de equilíbrio geral (CGE) são utilizados como ferramentas analíticas com o objetivo de resolver numericamente para diferentes variáveis econômicas (oferta, demanda e preço) que sustentam o equilíbrio entre os mercados

Os modelos CGE oferecem algumas vantagens para avaliar os recursos hídricos, como por exemplo, a avaliação de políticas e projetos que envolvem a construção de um novo reservatório ou

a redução na disponibilidade de água devido à seca. Os modelos de CGE são capazes de capturar questões explícitas de disponibilidade de água e mudanças na demanda (GRIFFITH, 2012).

Diversos são os modelos CGE aplicados ao uso da água no mundo. Os estudos, de um modo geral avaliam questões quanto ao comércio de água, mudanças tarifárias, bem-estar social, alocação dos recursos hídricos entre setores e outros questionamentos. Os estudos sobre o comércio de água, são discutidos por pesquisadores como Berrittella et al. (2005), Berrittella et al. (2007), Roe et al. (2005), Gomez et al. (2004), Diao and Roe (2003), Rosegrant et al. (2003) que buscam analisar o fluxo virtual de água¹⁷, impactos da liberalização do comércio sobre os recursos hídricos e como as consequências da queda na disponibilidade de água pode advir de uma restrição na oferta e como isso afeta a demanda setorial. Alguns autores também analisaram os ganhos e perdas no bem-estar dessa liberalização do comércio como em Berrittella et al. (2005), por exemplo.

Em Berrittella et al. (2007), os recursos hídricos são introduzidos como fatores de produção no setor agrícola e no setor de serviços de distribuição de água. A água é móvel entre os diferentes setores agrícolas, mas imóvel entre a agricultura e o setor de distribuição de serviços. Os autores executaram cinco simulações alternativas com impactos econômicos da restrição no abastecimento de água e das políticas que limitam a procura por água, as restrições de oferta de água implicam perdas de produtividade na agricultura e tais restrições mudariam os padrões comerciais.

Os estudos que analisaram políticas de preço da água e/ou aplicação de tarifas de água descritos em Berrittella et al. (2006), Decaluwé et al. (1999), Letsaolo et al. (2007), buscaram simular impactos de políticas de taxação aplicadas aos recursos hídricos como a demanda setorial e regional se comportam diante dessas novas tarifas.

O estudo de Letsoalo et al. (2007) usou um modelo CGE do Sul da África para avaliar uma combinação simultânea de baixo uso do recurso hídricos, elevado crescimento econômico, e uma distribuição mais uniforme da renda avaliados em três cenários diferentes que buscaram verificar situações de redução da pobreza associado ao baixo uso da água.

A restrição de oferta de água e/ou realocação de água é analisado em Berrittella et al. (2007), Calzadilla et al. (2008), Roson e Sartori, (2010), Seung et al. (2000), Diao e Nin-Pratt (2007), Diao et al. (2008) e Juana et al. (2011). Entre estes estudos pode-se destacar o estudo de Calzadilla et al. (2008), que considerou a diferença entre os sistemas de abastecimento de água: precipitação e irrigação, de forma indireta, diferenciou entre atividade de sequeiro e culturas irrigadas usando sua contribuição proporcional à produção total.

¹⁷ O conceito de água virtual foi utilizado primeiro nos trabalhos de John Anthony Allan, o conceito pode ser visualizado no estudo World Water Council (2004).

Em Diao e Nin-Pratt (2007) a discussão percorre o cenário de comércio de água para melhorar a eficiência alocativa do uso na Etiópia. O desenvolvimento de um modelo CGE para avaliar os impactos de realocação de água da irrigação para usos recreativos é visto em Seung et al. (2000).

Em Roson e Sartori (2010) o comércio de água no mediterrâneo foi avaliado em situação de escassez de água com a utilização de dados de satélite sobre o consumo de água setorial. Os resultados mostram que o comércio virtual de água poderia frear o impacto negativo da escassez de água e determinadas regiões sofreriam com reduções na renda e bem-estar. No estudo, os autores focaram nas variações médias anuais de escoamento dos rios, porém destacam que a disponibilidade hídrica deve conter também as águas subterrâneas e de abastecimento não convencional, o que impactaria de forma diferente as regiões do sul do Mediterrâneo, onde a tendência demográfica e de urbanização não pode ser ignorada.

Os estudos de Calzadilla et al. (2010a) e Lennox e Diukanova (2011), focaram a utilização sustentável da água na agricultura. No estudo de Calzadilla et al. (2010a), os autores analisaram a supressão das águas subterrâneas sobre a exploração em 2025, avaliaram basicamente três cenários que envolvem a retirada de água de acordo com as tendências, cenário de deterioração das condições da água em todo o mundo e a exploração excessiva das águas subterrâneas.

No estudo de Lennox e Diukanova (2011), os autores também simularam três diferentes cenários: a diminuição de terra irrigada (10%), aumento da disponibilidade de trabalho e capital (10%) e aumento nos preços da agricultura mundial, demonstram os impactos negativos no setor de uso intensivo de água, queda na produção e aumento dos preços.

Alterações climáticas e seus impactos na agricultura e nos recursos hídricos são analisados em You e Ringler (2010), Calzadilla et al. (2010b), Calzadilla et al. (2013), Van der Mensbrugghe (2010), Cackmak et al. (2009) e Smajgl (2009). Em Calzadilla et al. (2013) os impactos das mudanças climáticas sobre a África Subsariana, especificamente, são avaliados para o setor agrícola. Van der Mensbrugghe (2010), usou um modelo para contabilizar os impactos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. Cackmak et al. (2009), analisaram a gestão irrigada na Turquia, o impacto na economia como um aumento de preços na agricultura e mudanças climáticas.

Projeções climáticas sugerem que um dos mais significativos impactos da mudança climática será sobre o sistema hidrológico, e, conseqüentemente, no fluxo dos rios e dos recursos hídricos regionais conforme descrito em Bates et al. (2008). O impacto destas alterações climáticas pode ser visto nos estudos de You e Ringler, (2010) e Calzadilla et al. (2013), por exemplo.

A variabilidade e incerteza na oferta de água e os impactos das mudanças climáticas são questões a serem modeladas no Brasil ainda. As implicações de limitar o uso da água, particularmente

na irrigação são preocupações que podem ser examinadas no estudo de Young et al. (2006) que incluiu a alocação concorrencial pelos usos ambientais e demanda urbana.

No estudo de You e Ringler (2010), a Etiópia é abordada como uma região de frequente mudanças climáticas extremas e de secas desastrosas. O mesmo estudo destacou a disponibilidade de água sob temperaturas mais altas e padrões de precipitação e o impacto potencial sobre a produção agrícola do efeito da adubação do dióxido de carbono (CO₂). Os resultados demonstraram que a Etiópia precisa investir em gestão dos recursos hídricos, principalmente para a expansão da agricultura, políticas e investimentos que protejam a sociedade de inundações. Com a ocorrência dos eventos climáticos tanto os setores agrícolas quanto os não agrícolas sofreram impactos.

Na avaliação das restrições hídricas, comércio virtual de água, políticas de preços, etc, dois modelos específicos para o uso de água têm sido empregados, e são os modelos GTAP-W e o modelo TERM-H₂O. O modelo GTAP-W é um modelo para a economia global baseado no modelo GTAP para avaliar os recursos hídricos e comércio de água entre países. É um modelo multiregional e apresenta possibilidades de substituição entre irrigação e outros fatores primários, além de distinguir a agricultura de irrigação da agricultura de sequeiro. O GTAP-W e suas variações podem ser vistas nos estudos de Calzadilla et al. (2011), Berritella et al. (2007).

O modelo TERM-H₂O é uma variação dinâmica do modelo TERM (australiano) com detalhamento para a agricultura e adaptado para incluir detalhes regionais de água. Esse modelo foi construído para poder representar pequenas regiões o que se tornou mais evidente com os debates sobre as recompras de água, que são compras de direitos de água de irrigação pelo governo australiano dos agricultores. Apresenta uma estrutura *bottom-up*, sendo um dos principais modelos com maior nível de detalhamento para o uso de água setorial. A aplicação desse modelo pode ser vista nos estudos de Dixon et al. (2009), Wittwer (2012).

No Brasil, Magalhães et al. (2015) propôs um modelo CGE inter-regional *bottom-up* estático para a região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) denominado de Minas-Água para avaliar os impactos econômicos de restrições na oferta ou elevações de preço de água, considerando assim, as inter-relações de mercados, as cadeias produtivas e a heterogeneidade espacial. Os autores buscaram compreender a importância da água como insumo produtivo e no consumo das famílias. Desagregaram o setor de energia elétrica e água em nível nacional e utilizaram o modelo Begreen (Magalhães, 2013) o modelo foi agregado de acordo com os propósitos do estudo em sete setores: Agropecuária, Indústria, Energia Elétrica e Gás, Água e Saneamento, Transporte, Comércio e Serviços. De modo geral, os resultados das simulações indicaram que para um corte de 1% no consumo total de água na região metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) seria necessária uma elevação média de tarifas de 7,3% (Magalhães et al., 2015).

Modelos CGE para uso da água tem oferecido resultados que os modelos de equilíbrio parciais não são capazes de providenciar. Uma vez que há importantes efeitos indiretos associados com as simulações de políticas voltadas ao gerenciamento dos recursos hídricos. Isso pode ser verificado em Diao et al. (2005) onde a introdução de um mercado de água geraria ganhos econômicos ao elevar o salário real e o consumo diante do comércio internacional.

A agricultura irrigada é intensiva no uso de água na produção. Portanto independentemente do foco da pesquisa nos modelos CGE no mundo e no Brasil, o setor agrícola é o de maior destaque em todos os estudos regionais. A escolha do modelo irá depender de uma combinação entre a disponibilidade de dados, resultados esperados, modelagem possível e capacidade computacional.

Portanto, este estudo contribui a literatura de duas formas distintas: Primeiro, na elaboração e agregação dos dados para a matriz de demanda de água por atividade e por região em um ambiente inter-regional integrado. Segundo, adicionalmente a literatura brasileira sobre modelos CGE, a versão do TERM-BR aqui utilizada, contempla novas equações capazes de modelar, via diferencial de produtividade, o impacto da agricultura irrigada nas variáveis macroeconômicas regionais e nacional, além de permitir avaliar o impacto no uso da água em milhões de metros cúbicos (m^3), com destaque para a agricultura irrigada.

3. METODOLOGIA TERM-BR

O estudo utilizou como instrumental analítico um modelo de equilíbrio geral computável (CGE) do tipo *bottom-up*, denominado TERM-BR. Os modelos CGE são representações econômicas que integram as equações comportamentais e identidades para especificar as relações de demanda, tecnologias de produção, relações entre bens domésticos e importados, consumo das famílias, governo em uma situação de equilíbrio, além de permitir simular choques de produção, consumo, exportações que poderão ocorrer em determinada região do país e dimensionar os efeitos de encadeamento que ocorreriam sobre os demais setores interligados.

O modelo TERM-BR requer também uma série de coeficientes estruturais e parâmetros comportamentais para sua implementação. Os coeficientes fornecem informações a respeito da estrutura da economia em questão, enquanto os parâmetros comportamentais informam as respostas dos agentes as mudanças no ambiente econômico (SANTOS, 2006). O modelo TERM -BR é um modelo inter-regional de equilíbrio geral formalizado para estudos regionais e para o Brasil, baseado na estrutura teórica do modelo TERM desenvolvido para a economia Australiana (Horridge, 2012).

O TERM-BR consiste em um modelo regional que trata cada região do país como uma economia separada. A abordagem *bottom-up* permite modelar o comportamento dos agentes no nível regional, por meio de um sistema independente e interligadas entre si. Tem sido desenvolvido no Brasil desde 2001 no Departamento de Economia, Administração e Sociologia Rural da ESALQ/USP (FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2006; FERREIRA FILHO e MORAES, 2014; FERREIRA FILHO e HORRIDGE, 2014).

Os resultados nacionais passam a ser uma agregação ponderada dos resultados regionais O modelo representa uma versão moderna dos modelos Walrasianos de uma economia competitiva, com foco no lado real da economia. Com base na teoria neoclássica de equilíbrio geral, ele considera a economia como um completo sistema de componentes independentes (indústrias, famílias, investidores, governo, importadores e exportadores) e são formulados em equações comportamentais e identidades. Essas equações são derivadas de soluções explícitas de problemas de otimização com restrições assumidas para representar o comportamento típico de um agente (famílias, setor industrial, importador, exportador) como pode ser visto em detalhes em Dixon et al. (1999).

É um modelo em que cada indústria minimiza o custo de produção em um determinado produto otimizando o trabalho, capital e matérias-primas. Os níveis de produção são escolhidos para atender a demanda dos diversos usuários, indústrias nacionais, famílias, governos e outros países. O modelo captura a oferta e demanda por commodities, bem como o movimento de bens de produção para consumidores, considerando várias modalidades de transporte. Além disso, esse modelo avalia

choques de demanda e oferta e seus efeitos sobre os preços e quantidades em uma região específica. A capacidade de resposta de choques exógenos depende de três elementos básicos:

- A base de dados (Tabelas regionais);
- Parâmetros comportamentais (Ex: os agentes minimizam os custos) e;
- Fechamento do modelo (Quais variáveis são exógenas e endógenas no modelo).

Este modelo foi escolhido por se tratar de um modelo de múltiplos períodos, possui uma estrutura dinâmica que consiste em um fluxo de caixa que relaciona o investimento ao estoque de capital, a existência de uma relação positiva entre investimento e taxa de lucro e a relação entre crescimento salarial e o emprego regional e considera mobilidade entre mão de obra e capital e, substituição de fatores produtivos entre os setores.

As simulações podem significar diferentes situações em diferentes contextos. A solução de um problema é sempre feita em um contexto de simulação, os valores de certas variáveis (exógenas), são especificadas e o sistema de equações calcula o valor das demais variáveis (endógenas). Os valores das variáveis exógenas são usualmente fornecidos com dados em percentual e representarão mudanças (aumentos ou reduções) dos seus valores originais (HARRISON e PERSON, 2006)

A base de dados do modelo consiste em matrizes organizadas em commodities, indústrias e regiões. A principal fonte de dados de entrada do modelo são as tabelas do Sistema de Contas Nacionais e as Matrizes de Insumo-Produto do Brasil. Entretanto, outras matrizes são elaboradas de acordo com o interesse do pesquisador. As dimensões das matrizes são indicadas conforme os índices (s,c,m,i,o,d,r,f,u) como mostra a tabela 13.

O modelo TERM-BR assume que todos os usuários de um bem (c, s) específico numa dada região (d) tem a mesma composição em termos de origem. Atualmente, para cada bem (c, s) e região de uso (d) como se tivesse uma pessoa que decidisse por todos usuários (d) de onde a oferta se originará. A estrutura completa do banco de dados do modelo TERM é detalhada em Horridge (2012) e versões adaptadas ao Brasil podem ser verificadas nos estudos de Santos (2006), Fachinello (2008).

Tabela 13. Principais conjuntos do modelo TERM-BR.

Índice	Set	Descrição	Tamanho
S	SRC	Fonte (Doméstico, importado)	2
C	COM	Commodities	110
M	MAR	Margens (Transporte e comércio)	2
I	IND	Indústrias	110
O	OCC	Competências	10
D	DST	Região de Uso (destino)	15
R	ORG	Região de origem	15
P	PRD	Região de Produção marginal	15
F	FINDEM	Demanda Final	4
U	USER	Usuários (IND+FINDEM)	114

Fonte: Horridge, 2011.p.3.

O ano de referência para a análise é 2005. A escolha desse ano como referência se deu em razão de ser este o ano mais recente para o qual se dispunha do maior conjunto de informações necessárias para esse estudo no momento da definição da pesquisa. Nos modelos, a maior parte dos parâmetros necessários à sua operacionalização são obtidos da matriz insumo-produto através do método de calibração. Esse método, a grosso modo, consiste no cálculo desses parâmetros a partir das informações das variáveis exógenas em um dado ano base e pode ser visto com detalhes em Ferreira Filho (1998).

A tecnologia de produção no TERM-BR é expressa por uma estrutura hierarquizada em diversos níveis, os quais representam as etapas de otimização no processo produtivo das firmas que atuam na economia. Essa estrutura inicia-se na figura 7 e seu complemento pode ser visto na figura 8.

A estrutura de produção permite que cada indústria possa produzir vários produtos usando os insumos de fonte domésticas ou importadas, trabalho, capital e terra. Os insumos são relacionados de modo a formar o produto final, esse processo de transformação é guiado por uma função CET (*Constant Elasticity of Transformation*)¹⁸, o que induz a produção em favor daquele produto que tiver seu preço relativo aumentado, como é visto na figura 7. A elasticidade SIGMAOUT induz a transformação em favor daquele produto que tiver seu preço relativo aumentado.

¹⁸ CET = A produção será maior no bem que tiver o preço relativo aumentado em relação aos demais bens, tem o sinal oposto ao parâmetro de substituição derivado de uma função CES.

Figura 7. Esquema de produção que a firma pode produzir.
Fonte: Adaptado de Fachinello, 2008.

Para a produção dos bens e serviços, a indústria (firma) faz uma combinação dos fatores primários (terra, trabalho e capital) e bens intermediários compostos (bem 1... bem n) utilizando uma função de produção do tipo Leontief¹⁹ (fatores de produção são complementares) representado na figura 8 pelo retângulo verde. Embora todos os setores possuam a mesma estrutura de produção, as proporções dos insumos e os parâmetros comportamentais podem variar entre eles.

O outro nível de produção mostra os bens intermediários compostos, que são derivados de uma composição de bens produzidos domesticamente ou importado e as proporções de uso dos insumos entre as diferentes fontes são orientados por uma função CES (*Constant Elasticity of Substitution*) com valores de elasticidades de Armington (SIGMAIMP) diferentes para cada produto (Fachinello, 2008; Moraes, 2010, Horridge, 2012) parte destacada em vermelho na figura 8. As importações no modelo se originam de um único mercado externo, representado pelo Resto do Mundo.

Os insumos são produzidos no próprio país (fonte doméstica) e também são um composto das “r” diferentes regiões de origem utilizadas no modelo em que as proporções também são orientadas por uma função CES e elasticidade SIGMADOM (elasticidade substituição entre origens domésticas), a decisão quanto a origem regional dos bens produzidos domesticamente é, por hipótese, tomada em conjunto por todos os usuários, essa parte está destaca pelo quadrado azul na figura 8.

Os fatores primários (terra, trabalho e capital) utilizados no processo de transformação utiliza uma função CES e o parâmetro de substituição dado por SIGMAPRIM (elasticidade substituição entre fatores primários). O modelo permite que diferentes tipos de ocupação, nesse caso, mudanças nos preços relativos da ocupação induzem substituição em favor do trabalho relativamente mais barato, a elasticidade substituição é a SIGMALAB (elasticidade de substituição entre fatores

¹⁹ De proporções fixas.

primários) e a estrutura está destacada no retângulo marrom na figura 8. Quatro usuários finais são considerados no modelo (família, governo, investimentos e resto do mundo).

Figura 8. Estrutura de produção no modelo TERM-BR
Fonte: Adaptado de Fachinello (2008).

A demanda das famílias segue um sistema linear de dispêndio, as famílias determinam a composição ótima de suas cestas de consumo escolhendo produtos que maximizam sua função utilizada, sujeita a uma restrição orçamentária. As famílias maximizam a função utilidade do tipo Klein-Rubin²⁰, que permite que os bens demandados sejam desagregados entre bens de subsistência e bens de luxo (Fachinello, 2008; Moraes, 2010) conforme ilustrado na figura 9. A partir dessa maximização é gerado um sistema de equações de demanda, e neste, cada bem é descrito como uma função do dispêndio total e dos preços de todos os bens, sendo as equações homogêneas de grau zero em preços e renda.

²⁰ Também conhecida como Stone-Geary.

Figura 9. Estrutura de demanda das Famílias
 Fonte: Adaptado de Fachinelli (2008) e Santos (2006).

As origens dos fluxos para atender as demandas e as várias possibilidades de substituição no modelo TERM-BR são idênticas para todos os usuários, ou seja, a proporção que cada região participa no fornecimento de um determinado produto para um determinado usuário é a mesma para todos os demais usuários desse produto²¹. O resultado para a solução do modelo é dado em taxas de crescimento, ou seja, variação percentual.

O modelo TERM-BR comporta um número grande de regiões e setores e necessidade de duas matrizes principais de dados para representar origem e destino dos fluxos de bens e serviços e são, as matrizes USE (c,s,u,d) e a matriz denominada de TRADE (c,s,r,d) ambas quadri-dimensionais. Esse tipo de modelo geralmente requer, para sua implementação, uma grande quantidade de dados, os quais muitas vezes não se encontram disponíveis (SANTOS, 2006).

Todo o mecanismo de origem dos fluxos de demanda no modelo pode ser visto com mais detalhes em Santos (2006), Fachinello (2008) e Horridge, (2012). O modelo TERM-BR aqui descrito contemplou 15 regiões e 37 setores, a agregação regional pode ser vista na tabela 14 e a agregação utilizada seguiu as características econômicas das regiões. A descrição das atividades, produtos agregados podem ser visualizados no Apêndice B, tabela B.1.

²¹ Ver horridge (2012) p.23

Tabela 14. Regiões agregadas no modelo TERM-BR.

Regiões TERM-BR	Estados
Rondonia	Rondônia
Amazon	Acre, Amazonas, Roraima, Amapá
ParaToc	Pará e Tocantins
MarPiauí	Maranhão e Piauí
RestNE	Ceara, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe
PernAlag	Pernambuco e Alagoas
Bahia	Bahia
MinasG	Minas Gerais
RioJEspS	Rio de Janeiro e Espírito Santo
SaoPaulo	São Paulo
MtGrSul	Mato Grosso do Sul
MtGrosso	Mato Grosso
Central	Goiás e Distrito Federal

Dados da pesquisa.

Portanto, ao modelo TERM-BR, pela primeira vez, são incorporadas matrizes e equações para representar o módulo de uso de água com o objetivo de integrar as projeções para a demanda hídrica futura a novas situações de equilíbrio de mercado, possibilitando visualizar a trajetória das variáveis econômicas. Assim, a subseção seguinte apresenta as equações formalizadas para o modelo e a descrição em detalhes da elaboração das matrizes de uso de água descrita na seção quatro.

3.1. Módulo de água formulado para o TERM-BR

No Brasil não existe comércio de água entre regiões e as políticas de realocação de recursos hídricos são incipientes, parte da agricultura irrigada é de difícil mensuração devido a utilização de recursos hídricos próprios (poços, açudes, rios, etc) que cortam as fazendas e dificultam a mensuração precisa das informações. Nesse sentido, a modelagem do uso de água formulado nesse trabalho para o Brasil distingue-se dos modelos usuais aplicados no restante do mundo²².

Para o estudo do uso da água, as equações do módulo consideram de maneira distinta terras de agricultura irrigada e terras de sequeiro via ganhos de produtividade em terras de irrigação. A matriz de uso foi elaborada em nível regional e contemplou 55 atividades e 110 produtos para os 27 estados brasileiros. Posteriormente essa matriz foi ajustada ao modelo TERM-BR.

A tabela 15 mostra uma descrição da matriz de quantidade de uso de água para uma região específica (R_i), onde o elemento ($Q_i, \dots Q_n$) representa o uso da água em milhões de metros cúbicos

²² No caso cita-se dois modelos TERM-H2O e o GTAP-W, o modelo TERM-H2O pode ser consultado em Dixon, Rimmer e Wittwe (2009) e o modelo GTAP-W em Calzadilla et al (2011).

nas culturas ($i, \dots, n$) nas atividades (Ex: Agricultura). A coluna total representa a quantidade de água utilizada em um produto específico (i) na atividade, o total das linhas representa a soma de uso da água em todos produtos ($i, \dots, n$) dentro da atividade. Este procedimento foi realizado para todas as regiões em análise.

Tabela 15. Matriz regional de uso de água produto x atividade.

Uso da água (Q)	Agricultura	Pecuária	Indústrias	Serviços	Famílias	Total
Agricultura ($i, \dots, n$)	$(Q_i, \dots, Q_n)R_i$	$(Q_i, \dots, Q_n)R_i$	$(Q_i, \dots, Q_n)R_i$	$(Q_i, \dots, Q_n)R_i$	$(Q_i, \dots, Q_n)R_i$	$\sum(Q_i, \dots, Q_n) R_i$
Indústrias($i, \dots, n$)	...	...	...	...	...	...
Serviços($i, \dots, n$)	...	...	...	...	...	...
Famílias(i)	...	...	...	...	...	...
Total	$\sum(Q_i, \dots, Q_n) R_i$	$\sum(Q_i, \dots, Q_n) R_i$	$\sum(Q_i, \dots, Q_n) R_i$	$\sum(Q_i, \dots, Q_n) R_i$	$\sum(Q_i, \dots, Q_n) R_i$	$\sum(Q) R_i$

Elaborado pela autora.

A evolução dos setores de uso de água dentro do modelo TERM-BR segue a atualização de variáveis específicas para o ajuste. A matriz de uso da água está classificada como atividades não agrícolas, consumo das famílias e agricultura irrigada. As atividades não agrícolas são atualizadas pela atividade industrial, o consumo das famílias é atualizado pelo consumo real das famílias e a agricultura irrigada é atualizada por mudança no uso da terra.

O crescimento da produção agrícola regional depende do crescimento das áreas (irrigadas, não irrigadas) e da produtividade das culturas em cada área. Existe uma relação direta entre a expansão da área cultivada (irrigada, não irrigada) e crescimento da produção oriundo dessa expansão e da diferença de produtividade. Essa relação pode ser observada como segue:

$$K = SHR_i \cdot K_i + SHR_n \cdot K_n \quad (1)$$

Em que:

K = Produtividade total; K_i = produtividade da área irrigada; K_n = produtividade da área não irrigada.

A equação (1) demonstra a relação entre as parcelas de áreas irrigada (SHR_i) e não irrigada (SHR_n) e a produtividade dessas (K_i e K_n). Ao aumentar a parcela de área irrigada a produtividade também aumenta e ao expandir a área irrigada o uso dos recursos hídricos regional aumenta proporcionalmente a expansão da área. A variação da produtividade total seria dada por:

$$dK = K_i \cdot dSHR_i + K_n \cdot dSHR_n \quad (2)$$

$$dK = K_i \cdot SHR_i \cdot shr_i + K_n \cdot SHR_n \cdot shr_n \quad (3)$$

Da equação (3) é possível observar que a variação na produtividade agrícola, em termos agregados ($dK = k^*$) depende das parcelas de área irrigada e não irrigada (SHR_i e SHR_n), bem como,

das variações dessas parcelas (*shrig* e *shrn*). Se dividirmos a equação (2) pela equação (1) teremos a seguinte relação:

$$k^* = \frac{K_i}{K} SHR_i.shrig + \frac{K_n}{K}.SHR_n.shrn \quad (4)$$

Porém, se a soma de SHR_i e SHR_n igual a 1, implica que $SHR_i.shrig + SHR_n.shrn = 0$. Assim, a parcela da área irrigada (SHR_i), mais a parcela de área não irrigada (SHR_n), deverá ser igual ao total de área plantada. Isolando a variação da parcela não irrigada temos:

$$shrn = \frac{-SHR_i}{SHR_n}.shrig \quad (5)$$

Substituindo (5) em (4) e fazendo os ajustes, temos:

$$k^* = SHR_i.shrig \left[\frac{K_i - K_n}{K_n} \right] \quad (6)$$

Como descrito na equação (1), a produtividade total depende das parcelas iniciais, sendo, assim $SHR_n = (1 - SHR_i)$. Considerando que a produtividade da área irrigada seja maior que a produtividade da área não irrigada ($K_i > K_n$), tem-se em (7)

$$K_n = x.K_i \quad , \quad 0 < x < 1 \quad (7)$$

Em que x (equação 7) representa a variável de ponderação da área não irrigada em relação a área irrigada. A partir da equação (6) temos o seguinte:

$$\begin{aligned} k^* &= SHR_i.shrig \left[\frac{K_i - K_n}{K} \right] \\ k^* &= SHR_i.shrig \left[\frac{K_i - xK_i}{K} \right] \\ k^* &= SHR_i.shrig \left[\frac{K_i - xK_i}{[(1-x)SHR_i + x]K_i} \right] \\ k^* &= SHR_i.shrig \left[\frac{(1-x)}{(1-x)SHR_i + x} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Assim, derivando (8) em relação a *shrig* tem-se em (9) a elasticidade da produtividade em relação a área irrigada, ou seja, como a produtividade total varia com as mudanças na variação da parcela irrigada (*shrig*).

$$\frac{\partial k^*}{\partial shrig} = \frac{SHR_i (1-x)}{(1-x)SHR_i + x} \quad (9)$$

A variação da parcela irrigada (*shrig*) é um elemento exógeno no modelo e, determinado pela política econômica adotada no período impacta nas expansões de área irrigada. A expansão da área irrigada via variação da parcela da área irrigada (*shrig*) implica em uma demanda por uso de água por cultura e região como resultado da política adotada no período.

4. BASE DE DADOS

Esta seção aborda a elaboração da base de dados para a demanda por uso de água no item 4.1 e a estimativa da disponibilidade hídrica no Nordeste do Brasil no item 4.2.

4.1. Demanda

Diversas fontes de dados como a Pesquisa Industrial Anual (PIA) em nível de produto, o Censo Agropecuário 2006, a Pesquisa Nacional de Amostra de Domicílios (PNAD), a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), dados em MMA (2011a), Produção Agrícola Municipal (PAM), Pesquisa Pecuária Municipal (PPM), informações do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – Água e Esgoto (SNIS, 2007) e demais dados disponíveis na Agência Nacional das Águas (ANA) foram utilizados na composição das matrizes de retirada, consumo e retorno. Visitas realizadas em empresas de determinados ramos de atividade e pesquisas em sites específicos e relatórios de sustentabilidade empresariais foram necessários para complementar a base de dados.

Os itens 4.1.1 até o item 4.1.3 detalham a elaboração da base de dados de uso da água em milhões de m³ por grupos de grandes atividades econômicas. A descrição em 4.1.4 relata como a matriz de produtividade diferencial foi elaborada e o item 4.1.5 descreve o procedimento para atualização da base de dados de área irrigada até 2012 e os ajustes realizados nessa.

4.1.1. Matriz de uso da água na Indústria

Para a elaboração da matriz de retirada, consumo e retorno de água dos setores industriais, a Pesquisa Industrial Anual Empresa (PIA-Empresa) para o ano de 2007 (IBGE, 2008a) foi utilizada. Com isso foi possível expandir as informações dos coeficientes técnicos relatados nos trabalhos de Lisboa (2010) e MMA (2011a).

A base de dados da PIA-Empresa em IBGE (2008a) contemplou cerca de 3 mil produtos distribuídos em 255 grupos de atividades industriais. Os dados foram agregados e convertidos para adequar as características e valores dos coeficientes técnicos descritos em MMA (2011a). A tipologia utilizada para o enquadramento das indústrias esteve de acordo com a CNAE 2.0²³ e contemplou as seções B (indústrias extrativas) e C (indústrias de transformação). No trabalho de MMA (2011a) algumas informações sobre os coeficientes técnicos de retirada, retorno não estavam disponíveis, ou

²³ CNAE: Classificação Nacional de Atividades Econômicas, versão 2.0, está estruturada em cinco níveis hierárquicos: seção, divisão, grupo, classe e subclasse. O quinto nível, o de subclasse, é definido para uso da Administração Pública. Ver em IBGE, (2007b)

não foram identificadas. Porém, com os dados de MMA (2011a) foi possível classificar 62 grupos de atividades que foram expandidos, conforme foi possível, para adequar ao modelo TERM-BR.

Portanto, a matriz de águas para a indústria brasileira foi elaborada em quatro etapas. A primeira consistiu em classificar os produtos por grupos de atividades²⁴. Na segunda etapa coeficientes técnicos dos trabalhos de Lisboa (2010), MMA (2011a) composto foram expandidos para as 255 atividades²⁵. Isto foi possível pela utilização do código CNAE em ambas as bases de dados ser a mesma.

Algumas atividades industriais apresentaram mais de um coeficiente técnico para o uso água (coeficiente inferior e coeficiente superior) para o mesmo grupo de atividades. Indústrias para um mesmo setor classificadas como de maior nível tecnológico utilizam menos água no processo produtivo (coeficiente com valores menores -limite inferior), e as indústrias com nível tecnológico defasados são as que utilizam mais água no processo produtivo (coeficientes maiores - limite superior), o que permitiu a elaboração de matriz de uso na indústria com limite inferior, matriz com limite médio e matriz com limite superior.

A terceira etapa envolveu a análise individual dos produtos. Comparou-se a unidade de medida dos produtos descritos na Pesquisa Industrial Anual em IBGE (2008a) e a unidade de medida dos coeficientes técnicos de MMA (2011a). O resultado demonstrou que dentre o total de 255 grupos de atividades, 92 grupos precisavam de algum tipo de conversão para se adequar aos coeficientes de MMA (2011a) e 34 grupos de setores não possuíam nenhum tipo de identificação de coeficientes. Para que fosse possível realizar conversões algumas informações foram coletadas e entrevistas com empresas foram realizadas para finalizar o preenchimento dos coeficientes técnicos de uso da água na indústria que não constavam na base de dados utilizada.

Os cálculos de uso de água permitiram estimar o uso da água em 2756 produtos que foram distribuídos em 255 grupos de atividades. Posteriormente, agregou-se os 255 grupos de atividade em 70 grupos para a compatibilização com os setores descritos na matriz de contabilidade social e agregou-se novamente em 37 grupos atividades para a calibração do modelo TERM-BR. Tal agregação foi possível por se utilizar a descrição das atividades e produtos do CNAE 2.0 e do Sistema de Contas Nacional (SCN)²⁶.

A maior parte dos produtos estavam classificados por toneladas métricas (t). Porém, quando houve a discordância entre as unidades de medidas do IBGE (2008a) e a unidade do coeficiente técnico de MMA (2011a), considerou-se a densidade média do produto ou de um grupo de produtos

²⁴ Utilizou-se os códigos do Prodlist em IBGE (2011) para a classificação dos produtos em indústrias.

²⁵ Como os códigos de classificações pelo CNAE a expansão tornou-se possível ampliando o nível de desagregação.

²⁶ Essa tabela foi elaborada com as informações contidas nas diversas tabelas IBGE (2007b) e de IBGE (2015).

para a conversão dos valores. Além disso, em alguns casos buscou-se informações em tabelas de química, livros específicos, sites das principais marcas de produtos que continham as notas técnicas de fabricação dos produtos, legislação brasileira, normas técnicas e demais informações para que fosse possível a realização da medição do uso da água no total do produto no Brasil como uma matriz *proxy* da realidade industrial.

O resultado final contemplou nove matrizes específicas para o uso da água. Sendo três matrizes de retirada (inferior, superior, média), três matrizes de consumo e três matrizes de retorno. Para a simulação computável utilizou-se os dados de uso médio na indústria, por entender que essa matriz é capaz de representar as principais características da indústria nacional. Os resultados seguem no Apêndice C. Tabela C.1 (matriz de uso médio).

4.1.2. Matriz de uso da água na Agricultura e Pecuária

Os dados de MMA (2011a) foram utilizados para a mensuração do consumo de água na agricultura irrigada em nível estadual²⁷. A base de dados original é extensa e complexa, sendo necessário a utilização de um sistema computacional específico²⁸ para a contabilização dos dados municipais em estaduais. O procedimento de transformação dos dados em litros por segundo por hectares em cada mês irrigado (l.s.ha.mês) para metros cúbicos por ano (m³/ano), consistiu em três etapas.

Na primeira etapa, uma matriz que acumulasse os valores (retirada, consumo e retorno de água e hectares), mantendo a formatação original dos dados foi elaborada²⁹. O intuito dessa tabela é eliminar a descrição mensal dos valores agregando os dados para cada cultura em cada município. Na segunda etapa, estes novos dados foram somados para obter os dados do estado ainda em (l.s.ha). Na terceira etapa, os valores foram transformados em metros cúbicos por ano (m³.ano) e o procedimento foi realizado para todas as cidades e todas as culturas disponíveis na base de dados. O cálculo dos dados de água pode ser visualizado a seguir:

$$CCc = (CTcc * 86.400 * DIcc)/1000 \quad (10)$$

²⁷ A base de dados do documento de MMA (2011a) deve ser solicitada aos autores do projeto.

²⁸ O software Visual Studio versão 2012 foi utilizado para a geração de dados por se tratar de um software de desenvolvimento de sistemas, capaz de elaborar dados de acordo com a necessidade do pesquisador. A matriz por cultura e estado final totalizou 832 dados para o uso da água.

²⁹ Os hectares irrigados para as culturas permanentes é a média dos valores totais e valores máximos para as culturas classificadas como temporárias.

Em que:

CCc =Volume em m^3 no ano em determinada cultura e em determinada cidade.

$CTcc$ =Consumo total de água da cultura na cidade em $l/s/há$ (Q retirada, $Q_{consumo}$, $Q_{retorno}$).

$Dicc$ = Quantidade de dias que a cultura foi irrigada na cidade³⁰.

Os valores de retirada, retorno e consumo foram transformados em metros cúbicos para o total dos hectares estimados em MMA (2011a) de forma a adequar as informações ao modelo CGE. Essas etapas são sintetizadas na Figura 10.

Figura 10. Diagrama de passos para o cálculo do uso da água na agricultura irrigada calibrado ao modelo TERM-BR
Fonte: Elaborado pela autora.

A matriz de coeficientes técnicos de MMA (2011a) para a agricultura irrigada no país contou com dados para 57 culturas distribuídas por município, essas culturas foram agregadas em 12 grupos de produtos da agricultura e o resultado é descrito na Tabela 16. A matriz comparativa de hectares irrigados de MMA (2011a) e IBGE (2009) é descrita no Apêndice D, Tabela D.1, essa matriz também apresenta os dados de retirada, consumo e retorno por cultura em nível nacional calculados com base nos dados de MMA (2011a), o uso médio da água por hectares é reportado no Apêndice D. Tabela D.2.

O uso médio de água na cana de açúcar exigiu maior atenção e os dados foram comparados com informações dos trabalhos de Biswas (1988), Doorembo & Kassan (1994), Silva et al (2011), Souza et al (2012), Carmo (2013). As divergências evidenciadas são em relação a técnica de irrigação e a necessidade de irrigar dado a precipitação da região de estudo. No caso, a pesquisa de Carmo (2013), que considerou a região do semiárido baiano é o estudo que mais se aproxima do coeficiente médio utilizado na cana de açúcar, especialmente, para os estados do Nordeste.

³⁰ Aqui considerou que o mês é composto por 30 dias.

Portanto, ressalta-se que o coeficiente técnico de uso da água especificamente para a cana-de-açúcar, identificado no estudo de MMA (2011a), pode não representar adequadamente regiões de clima húmido em que a irrigação é realizada de forma suplementar e não plena.

As diferenças de área irrigada de MMA (2011a) e do censo agropecuário em IBGE (2009) se tornam mais evidentes ao nível de cultura³¹. Portanto, como o estudo de MMA (2011a) apresenta os dados de retirada, consumo e retorno em milhões de m³ de acordo com a área irrigada por cultura, considerou-se como válido a totalidade das áreas descritas em MMA (2011a) para o estudo das simulações computáveis. Assim, a Tabela 16 apresenta, de modo agregado, a matriz de recursos hídricos para o Brasil na atividade da agricultura, silvicultura e exploração florestal em milhões de metros cúbicos (m³).

Tabela 16. Matriz de recursos hídricos para o Brasil e para o Setor 0101 – Agricultura, Silvicultura e Exploração Florestal em milhões de m³/ano.

Código	Descrição do produto Nível 110	Agricultura, silvicultura, exploração florestal		
		Retirada	Consumo	Retorno
10101	Arroz em casca	7.768	4.247	3.522
10102	Milho em grão	363	292	71
10103	Trigo em grão e outros cereais	60	48	12
10104	Cana-de-açúcar	9.386	7.564	1.822
10105	Soja em grão	353	284	69
10106	Outros produtos e serviços da lavoura	7.175	5.759	1.415
10107	Mandioca	90	72	18
10108	Fumo em folha	12	9	2
10109	Algodão herbáceo	255	203	52
10110	Frutas cítricas	250	201	50
10111	Café em grão	1.746	1.397	349
10112	Exploração florestal e da silvicultura	21	17	4
Total		27.480	20.094	7.387

Fonte: Elaboração própria a partir de MMA (2011a).

Os dados de uso de água na agricultura irrigada descritos em MMA (2011a) foram comparados aos dados reportados no relatório de conjuntura dos recursos hídricos em ANA (2009). Segundo o relatório de ANA (2009) a demanda³² para a irrigação em termos de média anual foi de

³¹ Estas diferenças estão explicadas em MMA (2011a) e visualizadas no anexo D. Tabela D.1.

³² A demanda de água corresponde à vazão de retirada, ou seja, à água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos (ANA, 2009), os coeficientes de retorno são os descritos em ONS (2003). Os valores adotados das taxas de irrigação (l/s.ha) constam da Nota Técnica n. 7 – SPR/2003, porém, com valores ajustados visando à compatibilização com os valores do ONS.

861 m³/s, com uma média do período seco de 1.168 m³/s e a máxima mensal do período seco foi de 2.579 m³/s³³ em uma área irrigada total de 4.601.288 hectares, maior do que a área irrigada divulgada em IBGE (2009). Os dados de MMA (2011a) foram agregados e a estimativa do volume de água na matriz de retirada, em termos de média anual, foi de 883m³/s, resultado próximo ao divulgado em ANA (2009).

A elaboração da matriz de retirada, consumo e retorno da atividade da pecuária e pesca utilizou os coeficientes técnicos descritos na metodologia da ONS (2005) e os dados referentes ao número de cabeças (espécie do efetivo) oriundos do Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009). Os dados foram estimados em nível estadual e posteriormente agregados em nível nacional. O resultado para a atividade da pecuária em termos nacionais, em milhões de m³/ano, é descrito na tabela 17.

Tabela 17. Matriz de retirada, consumo e retorno na atividade de pecuária e pesca.

Código do produto Nível 110	Descrição do produto Nível 110	102 Pecuária e pesca		
		Retirada	Consumo	Retorno
10201	Bovinos e outros animais vivos	3.728	2.982	746
10202	Leite de vaca e de outros animais	-	-	-
10203	Suínos vivos	138	110	28
10204	Aves vivas	154	123	31
10205	Ovos de galinha e de outras aves	-	-	-
10206	Pesca e aquicultura	-	-	-
Total		4.020	3.216	804

Fonte: Elaboração própria a partir da base de dados de ONS (2005) e IBGE (2009).

Os dados de uso da água (consumo por animais vivos) por estado podem ser vistos no Apêndice D. Tabela D.3.

4.1.3. Matriz de uso da água para a demanda doméstica, comércio e serviços

A estimativa para a retirada, consumo e retorno do consumo das famílias são adaptados da metodologia do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) descrito em ONS (2005). Os dados populacionais são oriundos da contagem populacional descrito em IBGE (2007a) e foram combinados com as informações contidas na pesquisa nacional de saneamento básico 2008 (IBGE, 2010), posteriormente ajustadas a matriz de 2005. O consumo *per capita* total para cada estado foi calculado com base no consumo *per capita* por faixa populacional dentro do estado.

³³ Ver figura 43. Vazão de retirada média de irrigação em 2006 em ANA (2009).

Para o cálculo das estimativas não se considerou os municípios com coeficiente de retirada inferior a 70 litros por habitante por dia ($l.hab^{-1}.dia^{-1}$) ou retiradas superiores a $450 l.hab^{-1}.dia^{-1}$, conforme sugerido em ONS (2005) e ANA (2003), por valores fora dessa faixa serem incomuns. A estrutura lógica do processo de elaboração das matrizes é ilustrada na Figura 11.

Figura 11. Diagrama simplificado da adaptação da metodologia utilizada na estimativa das vazões, retorno e consumo de água populacional.

Fonte: Adaptado de ONS (2005).

O estudo considerou quatro faixas populacionais: a) Faixa populacional 1, composta por municípios com menos de 10 mil habitantes; b) Faixa populacional 2, com municípios de 10 mil a 100 mil habitantes; c) Faixa populacional 3, com municípios de 100 mil a 500 mil habitantes e d) Faixa populacional 4, com municípios com mais de 500 mil habitantes. Assim, a tabela 18 mostra os valores em $l.hab^{-1}.dia^{-1}$ por faixa populacional.

Diferente da metodologia da ONS (2005), não se considerou a área de drenagem do município, o que diverge dos dados da ONS (2005). O intuito da pesquisa foi estimar a necessidade

de consumo regional independente da área de drenagem ao qual determinado grupo populacional se enquadra. Em geral, o consumo *per capita* (distribuição) aumenta com o aumento populacional, o que pode ser visto na tabela 18.

Tabela 18. Valor distribuído por faixa populacional nos estados, ponderados pelas médias.

UF	Faixa populacional de <i>per capita</i> (L.hab ⁻¹ .dia ⁻¹)			
	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
SC	125	167	232	
AL	121	154	166	216
AM	122	196	360	328
BA	124	131	204	144
PA	125	150	136	323
ES	130	162	256	
TO	133	174	265	
CE	134	134	203	200
PR	142	153	200	245
RS	143	194	270	327
RO	141	152	215	
PB	146	156	211	270
MG	147	168	260	271
GO	151	183	194	232
MA	157	184	298	380
AP	158	242	314	
PE	159	163	216	288
MS	160	184	280	
RN	170	179	178	270
AC	171	140	244	
PI	171	176	207	305
SE	175	179	257	434
SP	183	240	282	278
RJ	193	268	258	326
RR	203	160	345	
MT	236	230	245	280
DF				250
Média Faixa	155	178	242	282

Elaborado pela autora com base em IBGE (2010), ONS (2005).

As vazões consumidas no abastecimento urbano foram estimadas considerando o uso consultivo na ordem de 20% de acordo com a NBR 9.649 da ABNT ³⁴ (BRASIL, 1986) e o retorno de 80%.

Para que fosse possível estimar o consumo de água para as atividades da matriz de contabilidade nacional, tais como: (0501) Construção, (0601) Comércio, (0701) Transporte, armazenagem e correio, (0801) Serviços de informação, (0901) Intermediação Financeira e seguros, (1001) Serviços de imobiliário e aluguel, (1101) Serviços de manutenção e reparação, (1102) Serviços

³⁴ A Norma Brasileira 9.649 diz respeito aos projetos de redes de esgoto e sanitários (Brasil, 1986).

de alojamento e alimentação, (1103) Serviços prestados as empresas, (1104) Educação Mercantil, (1106) Outros Serviços, (1201) Educação pública, (1202) Saúde pública, (1203) Administração pública e demanda das famílias, que são compreendidas basicamente pela atividade humana, calculou-se os percentuais de pessoas ocupadas com base na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD) de 2007 (IBGE 2008b) utilizando o software Stata.

Portanto, estimou-se os dados de retirada, consumo e retorno de água por faixa populacional e posteriormente os dados foram agregados em uso da água para o abastecimento humano para cada unidade de federação. Os dados de consumo foram redistribuídos entre as atividades prestadoras de serviços através da média de dias úteis trabalhados. O período de trabalho diário considerado foi de 8hr/dia, sendo assim, 1/3 do dia ao longo dos 240 dias como período de serviço e o restante como consumo de água componente de demanda das famílias. Pode ser visualizado na seguinte equação.

$$C_i = C_e * S_i \quad (11)$$

Em que:

C_i = Consumo de água na atividade de serviços ($i= 1,2, \dots, n$)

C_e = Consumo de água no estado

S_i = Participação do pessoal ocupado em cada atividade, considerando as horas/dias/trabalhados no ano.

A diferença entre o consumo de água no estado e o consumo nas atividades resultou no uso de água para a demanda final das famílias. Os resultados da matriz de água para esses setores por unidade de federação e a demanda final (Consumo das Famílias) pode ser visualizado na tabela 19.

Os setores industriais também utilizam mão de obra como parte integrante do processo produtivo. Porém, como destacou a tabela 12, o percentual de uso de água para uso sanitário e outros usos na indústria é considerado baixo, a maior parcela do uso de água na indústria seria com resfriamento. Portanto, a estimativa das séries de vazões para abastecimento populacional é uma *proxy* dos consumos (humano) sendo visto com ressalvas diante as alterações necessárias em relação a metodologia da ONS (2005).

Tabela 19. Matriz de uso para as atividades de serviços e demanda das famílias por UF.

UF	Const.	Comer.	Tranp	Info.	Finan.	Imob.	Aliment.	Serviços	EducMer	SaudeMer.	OutServ	EducPubl	SaudePubl	AdmPub	Famílias
RO	0,321	0,780	0,132	0,015	0,034	0,026	0,150	0,152	0,039	0,065	0,444	0,236	0,065	0,405	15,352
AC	0,157	0,332	0,081	0,011	0,019	0,003	0,056	0,071	0,013	0,002	0,237	0,204	0,090	0,277	8,301
AM	1,255	2,795	0,992	0,075	0,126	0,079	0,833	0,841	0,184	0,238	1,536	0,686	0,414	0,987	51,833
RR	0,143	0,377	0,069	0,007	0,011	0,011	0,050	0,108	0,020	0,024	0,234	0,147	0,061	0,299	7,038
PA	1,816	5,005	1,187	0,125	0,209	0,146	0,878	0,758	0,452	0,332	2,964	1,071	0,214	1,550	76,163
AP	0,266	0,585	0,179	0,012	0,019	0,024	0,099	0,130	0,039	0,071	0,343	0,121	0,070	0,237	9,720
TO	0,328	0,639	0,119	0,008	0,044	0,014	0,143	0,093	0,064	0,040	0,451	0,311	0,055	0,346	13,591
MA	1,707	4,317	0,733	0,072	0,179	0,080	0,518	0,483	0,366	0,304	2,520	1,618	0,277	1,224	87,065
PI	0,740	1,778	0,347	0,000	0,077	0,032	0,230	0,149	0,153	0,122	1,218	0,708	0,149	0,618	40,034
CE	1,661	4,625	0,999	0,086	0,185	0,266	1,031	1,026	0,509	0,462	3,090	0,888	0,344	1,063	85,149
RN	0,760	2,079	0,428	0,036	0,087	0,087	0,412	0,352	0,186	0,162	1,180	0,645	0,202	0,669	36,881
PB	0,859	1,936	0,505	0,025	0,095	0,095	0,345	0,308	0,173	0,168	1,520	0,731	0,164	0,892	40,795
PE	2,082	5,960	1,653	0,146	0,330	0,445	1,320	1,718	0,675	0,560	3,788	1,071	0,510	1,765	102,420
AL	0,535	1,496	0,422	0,027	0,067	0,099	0,202	0,216	0,094	0,171	0,809	1,087	0,148	0,431	32,095
SE	0,583	1,631	0,448	0,024	0,102	0,112	0,251	0,288	0,244	0,170	0,943	0,495	0,153	0,638	29,747
BA	2,685	6,226	1,769	0,222	0,292	0,414	1,640	1,840	0,726	0,816	4,644	1,503	0,385	1,971	124,314
MG	5,846	12,334	3,592	0,344	0,697	0,667	2,466	2,899	1,169	1,820	9,196	2,810	0,804	3,380	243,006
ES	0,938	2,361	0,594	0,069	0,129	0,150	0,376	0,473	0,158	0,356	1,488	0,485	0,251	0,837	43,542
RJ	6,822	15,434	5,530	0,760	1,562	1,479	4,161	4,700	2,474	2,855	12,842	3,401	1,327	5,115	266,475
SP	12,231	35,265	10,893	1,769	4,194	2,972	7,229	12,384	4,050	6,681	23,151	6,358	2,838	7,678	638,539
PR	2,470	6,507	1,835	0,191	0,572	0,413	1,217	1,496	0,745	0,995	3,730	1,281	0,399	1,503	113,209
SC	1,201	3,767	1,014	0,099	0,298	0,191	0,613	0,847	0,370	0,458	1,659	0,688	0,275	0,975	67,392
RS	2,941	7,736	2,410	0,262	0,732	0,601	1,336	2,439	0,818	1,365	5,080	1,323	0,489	2,052	148,754
MS	0,714	1,708	0,365	0,033	0,108	0,033	0,316	0,324	0,157	0,285	1,305	0,290	0,116	0,652	30,062
MT	0,883	2,128	0,492	0,049	0,087	0,094	0,468	0,509	0,094	0,164	1,288	0,562	0,122	0,740	42,973
GO	1,716	3,590	0,971	0,069	0,165	0,195	0,720	0,836	0,291	0,483	2,623	0,750	0,202	1,188	65,484
DF	0,618	2,041	0,565	0,156	0,362	0,185	0,547	1,112	0,353	0,322	1,703	0,481	0,177	1,539	34,664
Total	52,280	133,433	38,326	4,691	10,781	8,914	27,606	36,554	14,618	19,491	89,985	29,953	10,299	39,032	2.454,599

Fonte: Elaborada pela autora com base na PNAD (2006); IBGE (2008b) e ONS (2005).

4.1.4. Matriz de produtividade diferencial entre culturas irrigadas e não irrigadas

A matriz de produtividade diferencial entre culturas irrigadas e não irrigadas foi elaborada com a finalidade de identificar determinado nível tecnológico da atividade de irrigação em relação a atividade de sequeiro e assim visualizar o impacto do ganho adicional da produtividade nas variáveis de exportação, de renda populacional, consumo das famílias e investimentos, por exemplo. O padrão tecnológico por unidade de área resulta em um determinado nível de produtividade, sendo que os coeficientes técnicos de produção definem as quantidades de insumos consumidos por hectare e cultura através de uma função de produção específica para cada cultura.

Nesse sentido, o levantamento bibliográfico de experimentos realizados no Brasil que consideraram as especificidades técnicas e regionais de cada cultura para identificar o incremento da produtividade da irrigação em detrimento de culturas de sequeiro foram consultados. Com base nos trabalhos (De Souza et al. 2010a; De Souza et al. 2010b; De Melo Souza, et al. 2013.; Konrad, 2002.; Barros, 2003.; Fageria, et al. 1995; Santos e Rabelo, 2004; Resende, 1999; Amorim, et al., 2011; Rezende e Andrade, 2008; Tosta e Júnior, 2014; Vescove, 2008; Lopes, 2006; Marques, Frizzoni e Peres., 2004; Marques e Coelho, 2003; Souza, et al. 2014; Rocha, et al., 2010; De Souza, et al., 2010b; Gava et al. 2011; Kouri et al. 2005; FARSUL, 2014; Albrecht et al., 2007) foi possível elaborar uma matriz *proxy* da real matriz de produtividade por cultura/região³⁵.

A tabela E.1 no Apêndice E, representa a matriz de produtividade estimada pela média dos estudos acima relacionados com valores ajustados e agregados para as regiões do modelo. Ressalta-se que essa matriz não representa a peculiaridade da cultura sob os mais diversos climas, tipos de solo e condições de manejo da irrigação, mas fornece um indicativo geral sobre o incremento na produtividade por área irrigada.

No caso de não haver aumento de produtividade, então a tecnologia não é adotada e se verifica uma parcela irrigada muito pequena. Nestes casos, pela equação (7) usa-se o valor 1 para o parâmetro. Quanto mais próximo de 1 estiver o valor, menor será o incremento na produtividade e quanto mais próximo o valor estiver de zero, maior será o incremento na produtividade oriundo da irrigação.

³⁵ Com a incorporação de novos estudos regionais a matriz de produtividade pode ser alterada e seus valores se aproximar da realidade.

4.1.5. Atualização da base de dados de áreas irrigadas por região 2005-2012

Uma matriz de áreas plantadas foi elaborada com base na PAM (IBGE, 2006) e no censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2009) para identificação da parcela (percentual) de áreas irrigadas por cultura em cada estado (SHR_i) conforme descrito na equação (1).

O censo agropecuário de 2006 apresentou informações de áreas colhidas para os produtos da lavoura temporária e áreas plantadas e colhidas na lavoura permanente. A PAM apresentou informações sobre área plantada, área colhida para a produção das culturas temporárias e permanentes em todos os estados. Assim, a área irrigada deve ser menor ou igual a área plantada na cultura, o que exigiu uma mescla das duas fontes de informação para a elaboração da matriz e sua posterior agregação ponderada por área.

Portanto, a matriz de área plantada para as 57 culturas contou com informações de áreas plantadas das tabelas 1612 e 1613 da PAM, sendo possível identificar 48 culturas e suas áreas. As tabelas 822 e 1181 do censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2009) foram utilizadas em algumas culturas para completar a matriz. Os dados da PAM tiveram preferência na elaboração da matriz por se tratar de uma pesquisa anual que informa a evolução histórica da produção por cultura e região, o que ajuda a compreender a dinâmica regional das culturas. Ressalta-se que os dados da PAM³⁶ e censo Agropecuário de 2006 não são estritamente comparáveis, mas fornecem uma estimativa das áreas plantadas e colhidas no período.

Os dados de áreas irrigadas do estudo de MMA (2011a) foram confrontados com os dados de área irrigada do censo agropecuário 2006 (IBGE, 2009). O resultado comparativo da área estimada para a irrigação (MMA, 2011a) mostrou 4.477.414 hectares irrigados, enquanto que o censo agropecuário informou 4.545.532 (IBGE, 2009), ou seja, em MMA (2011a) temos uma representatividade de 99% do total divulgado no censo agropecuário de 2006. As culturas com maior área irrigada em ambas as bases de dados são descritas na Tabela 20.

³⁶ Os dados históricos da PAM também são utilizados na calibração do modelo TERM-BR para a evolução das áreas plantadas por grupos de culturas, o que permite considerar expansões e reduções de área plantada condizentes com o observado na economia brasileira.

Tabela 20. Maiores áreas irrigadas por culturas no Brasil no ano de 2006.

CULTURA	HECTARES MMA (2011a)	Hectares IBGE	Percentual MMA/IBGE
Cana-de-açúcar	1.721.170	1.713.909	100
Arroz	1.076.840	1.136.308	95
Soja	354.551	805.042	44
Milho	334.630	541.994	62
Café	220.942	261.938	84
Feijão	166.486	369.244	45
Laranja	143.830	157.335	91

Elaboração própria com base nos dados de MMA (2011a), IBGE (2009).

As diferenças metodológicas entre as estimativas de áreas irrigadas nos dois estudos são descritas em MMA (2011a) e, o principal destaque diz respeito ao sigilo das informações no censo agropecuário de 2006 em IBGE (2009). As 57 culturas descritas no estudo de MMA (2011a) foram agregadas em 12 grandes grupos de culturas para a possível compatibilização ao modelo.

Ao comparar os dados de área irrigada de MMA (2011a) com os dados da PAM (IBGE, 2006) e do censo agropecuário de 2006 (IBGE, 2009), algumas culturas apresentaram elevada relação percentual entre os hectares irrigados e plantados devido à pequena área cultivada na região, como é o caso da uva na Paraíba, alho no Distrito Federal, ervilha no Rio de Janeiro, por exemplo. Os maiores valores percentuais de área irrigada em relação a área plantada são ilustrados na Tabela 21.

Tabela 21. Área irrigada, Área plantada e as maiores relações percentuais por fonte de pesquisa.

		Área irrigada			Pesquisa utilizada área	
		UF	(MMA, 2011a)	Área Plantada		Percentual
1	Pimenta do Reino	ES	2.247	2.284	98,36%	PAM
2	Uva	PB	116	124	93,34%	PAM
3	Alho	DF	149	161	92,55%	IBGE 822
4	Ervilha	RJ	14	15	90,41%	IBGE 822
5	Cebola	BA	11.833	13.705	86,34%	IBGE 822
6	Limão	PE	130	159	81,46%	PAM
7	Arroz	RS	830.322	1.023.330	81,14%	PAM
8	Fumo	CE	167	213	78,50%	PAM E IBGE 822
9	Goiaba	DF	168	216	77,71%	IBGE 1181
10	Maracujá	RR	17	23	75,22%	PAM
11	Acerola	PI	53	71	75,06%	IBGE 822
12	Tomate	GO	3.999	5.353	74,70%	IBGE 822
13	Batata Inglesa	BA	4.197	5.687	73,80%	IBGE 822
14	Cana-de-açúcar	TO	2.628	3.801	69,13%	PAM

Elaboração própria com base nos dados de MMA (2011a), IBGE (2006), IBGE (2009).

Elevado percentual de área irrigada não implica, necessariamente, em uma grande extensão de terra. É possível notar, com exceção do arroz, que os maiores percentuais de culturas irrigadas em relação as plantadas encontram-se nas regiões Norte e Nordeste, em regiões de clima mais seco. Conforme descrito em Santos (2005), grande parte da área plantada de cana-de-açúcar no Nordeste, por exemplo, estava localizada no ecossistema dos tabuleiros costeiros, com distribuição de chuvas concentradas no outono/inverno, solos com baixa capacidade de retenção de água.

Todos os dados foram ajustados a área da matriz de contabilidade utilizada no modelo TERM-BR para o ano de 2005. A área irrigada foi atualizada até 2012 com base no estudo divulgado pela ANA (2013). Porém, o estudo não apresentou dados relacionados a evolução da irrigação por cultura nas regiões, então, assumiu-se que a proporção de área irrigada por cultura na região foi constante no tempo.

Os percentuais totais de área irrigada regionais reportados em MI (2014a) foram utilizados para o ajuste de áreas irrigadas de 2012. Tal ajuste se fez necessário para adequar as propostas do PNRH ao modelo computável, visto que, a base das áreas irrigadas e de consumo de água na agricultura irrigada estão descritas em MMA (2011a), estudo que é parte integrante dos programas do PNRH conforme citado no item 2.1.2. Essa base de dados para a área irrigada em 2012 manteve o crescimento observado nacional de 28% entre 2006 e 2012.

Ao comparar o avanço nas áreas irrigadas entre o censo agropecuário (IBGE, 2009) e os dados reportados pela ANA (2013), houve um aumento das áreas irrigadas entre 2006-2012 nos estados de Alagoas e Pernambuco. Porém, ao comparar os dados de MMA (2011a) e ANA (2013) houve uma redução de áreas irrigadas expressivas nesses dois estados, o que pode ser visualizado no Apêndice F. Tabela F.1. Como este estudo contabilizou os dados de uso da água de MMA (2011a), as áreas irrigadas nos estados de Alagoas e Pernambuco no período histórico são superiores as descritas em ANA (2013) e foram ajustadas ao percentual de áreas irrigadas totais descritos no estudo de MI (2014a).

Diversas simulações para o ajuste da base de dados de áreas irrigadas no período histórico foram realizadas. Porém, dado o objetivo de simular expansões de área irrigada nas regiões brasileiras considerando os cenários descritos no PNRH optou-se por utilizar a área irrigada de MMA (2011a) e testar a limitação hídrica nos estados do Nordeste, especialmente, para as regiões de Pernambuco e Alagoas cuja área irrigada descrita em MMA (2011a) é superior a descrita em ANA (2013) e, para o caso de Alagoas superior as áreas irrigáveis potenciais descritos em MI (2014a).

4.2. Oferta

A disponibilidade hídrica aqui descrita como oferta para os estados do Nordeste do Brasil considerou o balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955) para as águas superficiais e foi estimada por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa)³⁷. O balanço hídrico climatológico foi desenvolvido para determinar o regime hídrico de um local, sem necessidade de medidas diretas das condições do solo. Para sua elaboração há necessidade de definir o armazenamento máximo no solo (CAD - Capacidade de Água Disponível), e de se ter a medida da chuva total e a estimativa da evapotranspiração potencial em cada período (PEREIRA, 2005; VAREJÃO-SILVA, 2006).

Detalhes do método de Thornthwaite e Mather podem ser consultados em Amorin (1989), Pereira et al. (2002) e Varejão-Silva (2006). As variáveis atmosféricas de entrada do modelo são a precipitação (P) e a temperatura do ar (T). Parâmetros que influem no cálculo da evapotranspiração (fatores de correção) foram computados em função dos meses (ex., número de dias) e da região geográfica (ex., latitude).

A correção de Camargo foi utilizada para melhorar a estimativa da evapotranspiração, visto que a região de análise apresenta clima muito seco. Essa correção, proposta por Camargo et al. (1999) surgiu da tentativa de representar o termo aerodinâmico e ajustar a equação original de Thornthwaite (Moura et al, 2012). Para tanto, utiliza-se uma temperatura efetiva que expressa a amplitude térmica local (máxima e a mínima do dia) ao invés da temperatura média do ar. O método de Thornthwaite, porém adaptado por Camargo et al. (1999) pode ser empregado em qualquer condição climática.

Os dados climáticos da CRU (Unidade de Pesquisa Climática, versão 3.2) foram utilizados para estimar o balanço hídrico dos estados da região Nordeste. O superávit médio anual do excedente de água, das células da grade, foi agregado para as bacias hidrográficas para estimar a oferta de água na região. O balanço da água para cada bacia foi obtido a partir do excedente de água do modelo CWB menos a demanda integrada de água para a bacia em questão (do modelo TERM-BR). Quando o saldo da bacia foi positivo (excedente menos o consumo), a diferença de água foi transferida para a bacia a jusante.

Para visualizar a regionalização das bacias, a figura 12a mostra a delimitação geográfica dos estados do Nordeste e a figura 12b mostra o cruzamento entre as bacias hidrográficas e os limites regionais (hidro-regiões). Note que, em parte da região Sul e Sudeste

³⁷ Santiago Vianna Cuadra e Daniel de Castro Victoria.

(representada pelo círculo azul) o excedente hídrico para algumas células de grade foi estimado, porém estas bacias não fazem parte da região hidrográfica que abastece o Nordeste.

Figura 12. A) Estados do Nordeste destacados no mapa do Brasil; B) Cruzamento entre as ottobacias de nível 2 com os estados

Fonte: Ilustração dos dados estimados para o CWB.

Os resultados do excedente hídrico estimado foram comparados com os dados reportados para a disponibilidade hídrica em termos de vazão média descrito em ANA (2007)³⁸. Algumas divergências foram identificadas, especialmente, para a bacia hidrográfica do Parnaíba, em que a razão entre o excedente hídrico médio estimado para a bacia e a vazão média reportado pela ANA foi de 2,5. Alguns fatores podem justificar a diferença, como dados de evaporação e precipitação que podem ter divergido dos dados considerados pela Agência Nacional das Águas. O resultados dos excedentes estão no Apêndice G, Tabela G.1.

Porém, no caso do rio São Francisco, da bacia do Atlântico Leste e Tocantins-Araguaia o resultado é semelhante ao divulgado pela ANA. Ressalta-se que a evapotranspiração e precipitação por microbacia e rio podem divergir entre os períodos e a evapotranspiração de reservatórios também pode impactar nos resultados, o que em alguns casos, pode gerar uma disponibilidade hídrica maior do que a real disponibilidade.

³⁸ Optou-se por comparar com o estudo da ANA que fosse próximo ao período de dados considerados na estimativa, no caso o ano de 2004.

5. SIMULAÇÕES

Partindo do objetivo de avaliar como as expansões de área irrigada no país podem impactar na elevação do uso da água setorial e regional, foram elaborados três cenários que contemplaram as descrições reportadas no PNRH e são descritas a seguir.

5.1. Fechamento macroeconômico e de política

O fechamento do modelo consiste na escolha das variáveis exógenas e endógenas em um sistema de equações e refletem os principais aspectos das flutuações que estão associados ao horizonte temporal da simulação, ou seja, o período necessário para que as variáveis se ajustem a um novo equilíbrio.

A escolha das variáveis que são deixadas como exógenas reflete a visão teórica desejável do problema investigado. Essa decisão é condizente com as hipóteses mais apropriadas para as variáveis que o modelo não explica (exógenas) (Horridge, 2012). Assim, para as três simulações propostas no modelo adota-se um fechamento de onde, consideram-se as seguintes pressuposições de acordo com as teorias econômicas e são:

- O investimento é determinado pela taxa de retorno do setor;
- O consumo das famílias em termos reais é endógeno;
- O salário real é ajustado entre os setores produtivos e o trabalho tem seu deslocamento livre entre setores e regiões sendo guiado pelo diferencial de salário real.
- O consumo do governo é endógeno, variando na proporção do consumo das famílias;
- A balança comercial é endógena.
- O *numeraire* do modelo é o deflator do PIB.

As simulações de política contemplam o período de 2013 até 2025. No fechamento de política, a parcela da área irrigada (*shrig*), por cultura e região é exógena. Cabe ressaltar que o choque de política corresponde a um crescimento percentual regional anual na área irrigada em cada cenário simulado e o resultado desse choque deve ser condizente com a proposta do PNRH.

Desta forma, realiza-se inicialmente uma calibração histórica das variáveis para o período de 2005-2015, quando o modelo é atualizado com as variáveis observadas nos agregados macroeconômicos e os dados de área irrigada foram atualizados para o período de 2005-2012. A partir daí a economia é projetada até 2025.

5.2. Base e Cenários

A evolução da linha de base do modelo é vista como o comportamento da economia ao considerar determinadas características sem a adoção de nenhuma política. A adoção de uma política como imposição do pesquisador (expansão de áreas irrigadas) é analisada como desvios em relação à base de dados, essa evolução, entre linha de base e política, pode ser vista na figura abaixo.

Figura 13. Diferença comparativa entre base e política
Adaptado de Harrison e Pearson (1996).

Na linha de base do modelo³⁹, o preço das commodities cresce anualmente 1% mais rápido que o preço das manufaturas e o crescimento da economia brasileira. O Produto Interno Bruto (PIB), seguiu as informações contidas no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e são projetados a partir de 2016. Para a primeira simulação denominada de CEN 1 o crescimento do PIB, entre 2016-2025, seria de 4,5%. A segunda simulação CEN 2 o crescimento do PIB considerado foi de 3,5% e a simulação de CEN 3 o PIB cresce 1,5%.

A simulação de política para cada um dos cenários considerou crescimento de áreas irrigadas segundo as informações do PNRH e foram adaptados seguindo as informações de área potencialmente irrigáveis, classificadas como de máximo interesse intervenção pública (MIIP), descritas em MI (2014a). O período simulado para a expansão das áreas irrigadas, contemplou o período de 2013 até 2025. Assim, a síntese dos três cenários simulados constitui-se em:

- Água para todos (CEN1): A agricultura expande-se, particularmente, pelo Centro-Oeste (Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás) e pelo Nordeste (Bahia, Pernambuco, Rio

³⁹ 2005 foi o ano de calibração do modelo, como descrito na metodologia TERM-BR.

Grande do Norte e Maranhão) e pelo Norte (Rondônia, Tocantins e Pará) com relevância no cultivo de alimentos como cereais e frutas e crescimento anual de 170 mil hectares.

- Água para alguns (CEN2): A agricultura expande-se pelo Centro-Oeste (Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás) e pelo Norte (Rondônia, Tocantins e Pará) com relevância para o cultivo de alimentos como cereais, frutas, principalmente a uva. A expansão do plantio de cana-de-açúcar para a produção de combustível e de algodão para a indústria têxtil. Crescimento anual de 120 mil hectares irrigados.
- Água para poucos (CEN3): Destaca-se a produção de cana-de-açúcar para combustível e de algodão para a indústria têxtil. A agricultura irrigada cresce 70 mil hectares.

A tabela 22 mostra os dados de área irrigável (hectares) descritos na classificação de MIIP em MI (2014a) agregados por região do modelo TERM-BR. Os hectares irrigados expandidos em cada cenário simulado são descritos nas colunas CEN 1, CEN 2 e CEN 3.

Tabela 22. Relação percentual entre os hectares simulados por região e a área potencial irrigável descrita em MIIP.

Regiões	Área Irrigável (MIIP)	CEN 1		CEN2		CEN3	
	Hectares	Hectares	%	Hectares	%	Hectares	%
1 Rondonia	122.306	21.867	18%	13.148	11%	7.433	6%
2 Amazon	608.982	147.579	24%	110.872	18%	66.717	11%
3 ParaToc	816.540	228.560	28%	167.555	21%	95.798	12%
Total Norte	1.547.828	398.006		291.575		169.948	
4 MarPiaui	577.093	84.142	15%	61.953	11%	35.729	6%
5 PernAlag	50.520	628	1%	427	1%	290	1%
6 Bahia	393.859	66.553	17%	48.304	12%	27.425	7%
7 RestNE	34.951	2.274	7%	1.564	4%	975	3%
Total Nordeste	1.056.423	153.597		112.248		64.419	
8 MinasG	1.785.433	320.785	18%	222.763	12%	124.852	7%
9 RioJEspS	134.524	17.156	13%	12.666	9%	7.355	5%
10 SaoPaulo	449.818	70.842	16%	51.596	11%	29.164	6%
Total Sudeste	2.369.775	408.783		287.025		161.371	
11 Parana	1.347.556	197.030	15%	144.352	11%	82.540	6%
12 SCatRioS	1.805.759	288.414	16%	209.983	12%	119.175	7%
Total Sul	3.153.315	485.444		354.335		201.715	
13 MtGrSul	689.650	155.014	23%	109.669	16%	59.143	9%
14 MtGrosso	2.948.230	612.380	21%	420.039	14%	242.789	8%
15 Central	1.172.999	254.913	22%	182.924	16%	101.014	9%
Total Centro Oeste	4.810.879	1.022.307		712.632		402.946	
Total Brasil	12.938.220	2.468.137	19%	1.757.815	14%	1.000.399	8%

Resultados simulados.

Os percentuais de expansão de áreas simulado em cada cenário são inferiores à capacidade potencial irrigável em cada região. Para atingir os valores de crescimento de área irrigada descrito nos cenários do PNRH, cada cultura em cada cenário recebeu um choque distinto na área irrigada. Os percentuais foram ponderados pela área irrigada de 2012 (de modo agregado) e os valores dos choques podem ser visualizados no Apêndice H. Tabelas H.1, H.2 e H.3. A expansão da área irrigada é condicionada a mudança nas áreas plantadas das culturas de forma endógena, não sendo possível obter uma área irrigada superior a área plantada.

A partir dos choques nas áreas irrigadas foi possível simular a demanda pelo uso da água nas atividades produtivas, condicionados ao fechamento econômico e de política descrito anteriormente.

A agricultura irrigada é a atividade de maior uso nos recursos hídricos e os resultados estão diretamente relacionados ao tipo de cultura, clima, necessidade hídrica da planta, condição de manejo do solo e técnicas de irrigação. Portanto, para simplificar a análise, as simulações de política partiram do pressuposto que o coeficiente técnico no uso da água por cultura e hectare se manteve o mesmo nas simulações dos cenários, qualquer fator⁴⁰ que poderia contribuir na alteração desse não foi considerado.

⁴⁰ Fatores como mudanças climáticas, melhoria técnica, etc.

6. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os resultados refletem as projeções para o uso da água por usuário e região em situações econômicas e de expansão de área irrigada distintas. A agregação dos dados permitiu a análise para 37 usuários em 15 regiões conforme descrito na seção 4. Os resultados simulados no cenário 1 são comparados com os dados estimados pelo CWB para os estados do Nordeste e são detalhados na segunda parte desse capítulo.

6.1. Resultados para o Brasil e regiões: Evolução na demanda de água.

Os cenários descritos no PNRH contemplam um mundo de crescimentos diferentes associados as expectativas futuras. Assim, a figura 14 ilustra as diferenças entre as expansões de área irrigada regionais para os três cenários (CEN 1, CEN 2 e CEN 3).

Figura 14. Resultado acumulado para as expansões de área irrigada nos três cenários nas regiões para 2025. Resultados alcançado na simulação.

As expansões de área irrigada projetadas até 2025 são inferiores a capacidade nacional descrita em MIIP por MI (2014a) de 12.938.220 hectares irrigáveis⁴¹. As regiões de maior potencial seriam Mato Grosso, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SCatRios), Minas Gerais,

⁴¹ Ver tabela 22.

Paraná, Goiás (Central), Para e Tocantins (ParaToc), Amazônica (Amazon), Maranhão e Piauí (MarPiauí) e Bahia. A região Amazônica (Amazon) pode gerar controvérsias em relação a expansão de áreas irrigadas. Porém como visto na tabela 22 a expansão no CEN 1 representaria 24% das áreas potenciais irrigáveis nessa região que contempla os estados do Amazonas, Acre, Roraima, Amapá.

Os choques simulados mostram que a expansão da área irrigada no CEN1 atingiria 2,49 (Mha), maior impacto nos recursos hídricos entre os três cenários e, um pouco maior do que o descrito no cenário de água para todos (CEN1), de 170 mil hectares anuais, que entre 2013-2025 deveriam atingir 2,10 (Mha). A diferença no resultado das simulações e o estipulado na descrição do cenário decorre de a expansão nas áreas plantadas ter sido atualizado até 2015 e como a parcela da área irrigada é atualizada com a mudança na área plantada, as alterações regionais impactaram no resultado simulado.

As regiões apresentam uma produção de alimentos bem diversificada e a dinâmica econômica, em geral, contribui para influenciar os cenários de recursos hídricos em um país com alta disponibilidade hídrica. Nesse sentido, a região Centro-Oeste destaca-se com uma área potencialmente irrigável de 4.810.879 hectares descrita em MI (2014a), de clima tropical com verão chuvoso e inverno mais seco e área de drenagem coberta por vários rios e bacias que favoreceriam a expansão nas culturas discriminadas nessa pesquisa.

A expansão das áreas irrigadas no país promove o aumento da produção de alimentos, via aumento de produtividade e gera impactos positivos na renda do agricultor. Os efeitos das políticas simuladas, de modo agregado, são ilustrados nas tabelas 23 e na figura 15. A tabela 23 mostra os resultados das simulações para algumas variáveis macroeconômicas selecionadas. A mudança no uso da água devido ao choque de política é maior no cenário 1 (CEN 1) e as variáveis macroeconômicas também aumentariam mais nesse cenário em relação aos demais.

Os efeitos das políticas nos resultados macroeconômicos ocorrem via ganhos de produtividade da agricultura irrigada em relação a agricultura de sequeiro. O aumento na produção de *commodities* se reflete no aumento das exportações em todos os cenários, mesmo no cenário de água para poucos (CEN 3) cuja a expansão de áreas irrigadas seria o menor.

O aumento no consumo agregado advém do ganho real na renda gerada na economia via aumento de produtividade das áreas irrigadas. Os resultados de mudança no uso da água para o Brasil refletem a agregação ponderada dos resultados regionais e, portanto, indicam um aumento médio no uso de água.

Tabela 23. Resultado do modelo, efeitos nos agregados macroeconômicos como desvio de política (CEN1, CEN2, CEN3).

Descrição	Água para todos CEN 1 2025	Água para Alguns CEN 2 2025	Água para poucos CEN 3 2025
Macroeconômicos			
Consumo das Famílias (%)	0,080	0,056	0,0318
Investimentos reais (%)	0,189	0,145	0,0923
Gastos do Governo (%)	0,080	0,056	0,0319
Volume de Exportações (%)	0,145	0,109	0,0633
Salários reais (%)	0,170	0,120	0,0654
PIB real (%)	0,105	0,074	0,0416
Uso da água			
Uso da água nacional (Milhões de M³/ano)	7.554	5.349	3.007
Uso da água nacional (mudança %)	10,56	7,92	4,97
Área Irrigada			
Mudança na área irrigada (Mha/ano)	2,49	1,77	1,00

Resultados das simulações.

O uso da água no CEN1 “Água para todos” é mais intenso, o que implicaria em um acréscimo de +10,56 % como resultado da política acumulado em 2025 (crescimento de 7.554 milhões de m³ de água). A diferença entre o uso de água no CEN 1 e CEN 3 (água para poucos) seria de menos 4.547 milhões de m³ de água acumulados no período entre 2013 até 2025. O CEN 3 é condizente com um cenário de baixo crescimento econômico (PIB simulado de 1,5%), o que limitaria as expansões de área irrigada, mas gerariam impactos positivos em todos os agregados macroeconômicos.

Como descrito na seção 2.3.2, o crescimento observado dos hectares irrigados no país superou anualmente os 200 mil hectares anuais, com destaque para a região Sudeste +36% (98.814 hectares anuais), a região Centro-Oeste + 48% (46.535 hectares) e a região Nordeste + 22,93% (38.512 hectares) entre 2006-2012⁴². Assim, os resultados das simulações de política simulados nessa pesquisa, ilustram um impacto no uso dos recursos hídricos maior do que ocorreria em uma simulação fidedigna dos cenários descritos no PNRH.

A figura 15 mostra como os resultados das simulações poderiam impactar nas variações do PIB regional. Impactos positivos no crescimento do PIB, investimento, consumo das famílias são observados como resultado das simulações. A maior contribuição na variação no PIB real regional ocorreria para o estado do Mato Grosso (MtGrosso) de +1,17%, +0,82% e +0,47% para os CEN 1, CEN 2 e CEN 3 respectivamente. Os investimentos também seriam maiores nessa região. O estado do Mato Grosso apresenta um potencial de áreas irrigáveis de

⁴² Ver comparativo entre os dados do IBGE (2009) e ANA (2013) demonstrado na tabela 10.

aproximadamente 10 milhões de hectares ao considerar todas as classes setoriais descritas em MI (2014a).

O impacto positivo nos PIB regionais é associado a produtividade da agricultura irrigada, que também promoveria a expansão da cadeia produtiva para os setores da indústria alimentícia. Os investimentos também se expandem seguindo o mesmo movimento e estes seriam proporcionalmente maiores nas regiões Amazônicas (Amazon), Rondônia e Pernambuco e Alagoas (PernAlag) em relação aos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SCatRios) e Goiás (Central), por exemplo, que são regiões de melhor infraestrutura.

Figura 15. Resultado das simulações na variação do PIB real regional nos CEN 1,2 e 3 e resultado para os gastos reais das famílias no CEN 1.

Resultados das simulações.

Os resultados das simulações sugerem que as políticas de expansão de áreas irrigadas gerariam impactos positivos para a variação no PIB e investimento em todas as regiões e em todos os cenários. A região Amazônica (Amazon), por exemplo, apresentaria variação no PIB real de + 0,232 (CEN 1) e o investimento de +0,368 enquanto que na região de SCatRioS, a variação no PIB real seria de +0,150 e o investimento de +0,184 (CEN1).

Dado a importância e a participação da agricultura regional no PIB, a expansão das áreas irrigadas representaria um efeito maior em regiões tradicionais na atividade, como é o caso do Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, mesmo a mudança como desvio da política, em percentual, ser menor do que na região Amazônica (Amazon) e nos estados do Para e Tocantins (ParaToc), por exemplo. Assim, o impacto econômico para o crescimento regional da produção seria maior em regiões

tradicionais na agricultura irrigada. Os resultados do CEN1 para as variáveis macroeconômicas regionais podem ser vistos no Apêndice I, Tabela I.1.

A região RioJespS (Rio de Janeiro e Espírito Santo) apresentaria o menor impacto nos agregados regionais. Estes dois estados apresentaram baixo percentual de área irrigada, aproximadamente 2% e 4% (39.506 e 168.238 hectares) segundo MMA (2011a) para o ano de 2006 e a forte restrição hídrica limitaria as expansões de área irrigada nessa região.

As expansões de área irrigada impactariam no uso de água condicionado ao crescimento econômico e as expansões de área simuladas. Portanto, o maior impacto ocorreria no CEN 1 e o menor impacto no CEN 3, sendo o CEN 2 um cenário intermediário para as expansões de área. Assim, o uso dos recursos hídricos como resultado das simulações indicaria uma ampliação no uso da água de +10,5% no CEN 1, de +7,92 no CEN 2 e de +4,97 no CEN3 para 2025. A evolução do uso da água como resultado das três simulações ao longo do tempo é ilustrada na figura 16.

Figura 16. Crescimento nacional do uso da água em percentual % para os três cenários.

Resultado da simulação.

O crescimento no uso da água no CEN 1 ao longo do tempo é superior aos demais cenários e está descrito em termos de média nacional. Entre os setores analisados, o setor agrícola seria o setor de maior crescimento no uso da água, seguido pela pecuária. Alguns setores industriais avançariam mais no uso do que outros e o crescimento populacional implicaria em ampliação no uso no consumo das famílias que também seria puxada pelo aumento médio no consumo e renda das famílias, como visto na tabela 23. O crescimento no uso da água por região e setor é descrito primeiramente para o setor agrícola, depois pecuária, indústria e consumo das famílias como é visto adiante.

A tabela 24 mostra a mudança no uso da água por cultura em milhões de m³ e a variação percentual acumulada para 2025 como resultado médio nacional para os produtos da agricultura irrigada. Os resultados das simulações de política expandem as culturas de maior área irrigada no país condicionado ao crescimento das áreas plantadas projetados para essas culturas. Assim, a área irrigada da cana-de-açúcar em +549.342 hectares irrigados, sendo a de maior uso nos recursos hídricos seguido pela cultura do arroz em +520.948 hectares irrigados, soja e milho também seriam culturas para a expansão de áreas irrigadas no país e a maior expansão dessas ocorreria nos estados do Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás.

Tabela 24. Mudança no uso da água em milhões de m³ de água e % para os usuários da agricultura irrigada no Brasil em CEN 1, CEN 2 e CEN 3, como resultado do desvio da política.

Culturas	CEN 1			CEN 2			CEN 3		
	Hectares	(m ³) ¹	%	Hectares	(m ³)	%	Hectares	(m ³)	%
Arroz em Casca	520.948	1.808	29%	379.394	1.318	21%	215.076	748	12%
Milho em grão	310.941	480	64%	226.119	349	47%	129.651	201	27%
Trigo e Cereais	11.465	13	45%	8.157	9	31%	4.461	5	18%
Cana de Açúcar	549.342	2.940	19%	380.084	2.030	13%	205.888	1.097	7%
Soja	442.251	654	96%	303.086	437	63%	176.411	254	36%
Outras culturas	242.212	587	22%	176.900	427	16%	104.030	251	9%
Mandioca	48.626	95	58%	35.505	69	42%	20.617	40	24%
Fumo	1.615	0	5%	1.181	0	4%	672	0	2%
Algodão	109.250	195	91%	79.461	142	67%	45.683	82	39%
Frutas Cítricas	44.972	143	25%	32.391	103	18%	18.480	59	10%
Café	61.891	170	18%	43.478	120	12%	24.926	69	7%
Explo. Florestal	124.631	442	121%	92.057	327	90%	54.503	194	53%
Total	2.468.144	7.528		1.757.813	5.331		1.000.398	2.998	

Resultados da simulação.

Nota¹: os dados estão em milhões de metros cúbicos.

A cana de açúcar é uma das principais culturas para expansão das áreas irrigadas nas simulações propostas. Entretanto, a mudança no uso da água em termos percentuais não seria tão expressiva nessa. Pode-se observar que as maiores mudanças no uso da água (%) ocorreriam na exploração florestal, soja, algodão em todos os cenários. A expansão da exploração florestal ocorreria especialmente na região Norte, a soja na região do Centro-Oeste e o Algodão nas regiões Nordeste e Centro-Oeste.

Conforme descrito no item 4.1.2 (matriz de uso da água na agricultura), os dados de uso de água por cultura e região partiram de informações municipais e estas foram agregadas e ajustadas ao modelo. Portanto, ao impor as expansões de área irrigada nas simulações de cenários, o tipo de cultura praticado em cada região foi expandido de acordo com a participação da cultura na agricultura da região.

A tabela 25 mostra a mudança percentual acumulada do uso da água por região incluindo todas as atividades (agricultura, indústria, pecuária, serviços e consumo das famílias) e os respectivos hectares expandidos. O estado do Mato Grosso apresentaria o maior crescimento no uso dos recursos hídricos +92,56% na simulação do CEN1 em 2025 condizente com a região de maior expansão da área irrigada. O menor impacto no uso da água ocorreria nos estados de Pernambuco e Alagoas (PernAlag) e no restante do Nordeste (RestNE) com 0,09% e 0,49% respectivamente para o CEN 1.

Tabela 25. Mudança percentual acumulada no uso da água por região como resultado das políticas do CEN 1, CEN2 e CEN3 e os respectivos hectares irrigados por região.

	CEN 1		CEN 2		CEN 3	
	Hectares	Mudança % água	Hectares	Mudança % água	Hectares	Mudança % água
1 Rondonia	21.867	11,78 %	13.148	7,54 %	7.433	4,91 %
2 Amazon	147.579	36,34 %	110.872	29,70 %	66.717	21,24 %
3 ParaToc	228.560	34,07 %	167.555	26,05 %	95.798	16,33 %
4 MarPiaui	84.142	30,91 %	61.953	23,82 %	35.729	15,16 %
5 PernAlag	628	0,09 %	427	0,06 %	290	0,04 %
6 Bahia	66.553	7,95 %	48.304	6,00 %	27.425	3,68 %
7 RestNE	2.274	0,49 %	1.564	0,36 %	975	0,23 %
8 MinasG	320.785	16,38 %	222.763	12,06 %	124.852	7,58 %
9 RioJEspS	17.156	1,76 %	12.666	1,39 %	7.355	0,93 %
10 SaoPaulo	70.842	1,32 %	51.596	1,04 %	29.164	0,68 %
11 Parana	197.030	6,61 %	144.352	5,28 %	82.540	3,58 %
12 SCatRioS	288.414	8,88 %	209.983	6,84 %	119.175	4,29 %
13 MtGrSul	155.014	29,59 %	109.669	21,84 %	59.143	12,89 %
14 MtGrosso	612.380	92,56 %	420.039	65,54 %	242.789	41,44 %
15 Central	254.913	26,74 %	182.924	19,93 %	101.014	11,85 %

Resultado das simulações.

Observe que Minas Gerais apresentaria elevada expansão das áreas irrigadas, mas o impacto no uso da água seria menor do que, por exemplo, a região de Pará e Tocantins (ParaToc). A mesma análise pode ser feita para o estado do Paraná que teria uma expansão de 197.030 hectares irrigados em CEN 1 e o impacto no uso da água seria de 6,61% proporcionalmente menor do o simulado para ParaToc, que atingiria um aumento de 34,07% no uso de água.

Os coeficientes médios utilizados na região do Para e Tocantins (ParaToc) são relativamente maiores do que os utilizados no estado do Paraná. A média de uso da água na

gricultura na região do Pará e Tocantins seria de 2.896 m³/há e no Paraná seria de 980m³/há⁴³. Como resultado da simulação, para o estado do Pará as áreas irrigadas se expandiriam na mandioca, milho, soja, arroz. O estado de Tocantins expandiria no arroz, cana de açúcar, soja.

Como os resultados simulados mostram que o maior impacto no uso da água ocorreria no CEN 1, os dados de uso da água (milhões de m³) para o setor agrícola serão detalhados somente para este cenário a partir desse ponto. Os resultados das expansões de área irrigada por cultura e região do CEN 1 estão no Apêndice J, tabelas J.1.

As tabelas 26 e 27 ilustram o impacto regional no uso de água em milhões de m³ por cultura como resultado da política acumulada para 2025. O arroz em casca cresceria mais nos estados do Pará e Tocantins, o café expandiria em Rondônia e Minas Gerais, outros produtos da lavoura e frutas cítricas em praticamente todas as regiões, com exceção da região de Pernambuco e Alagoas (PernAlag) e restante do Nordeste (RestNE).

O resultado no CEN 1 elevaria o uso da água na produção do arroz na região do Pará e Tocantins (+389,26 milhões de m³) e o resultado médio do uso de água por hectare seria de 3.057 m³/ha. A cana de açúcar se ampliaria em Minas Gerais (+684,92 milhões de m³) com uso médio de 5.763 m³/ha. O agregado de culturas denominado “Outras Culturas”, apresentaria o uso médio de 2.899m³/ha em Minas Gerais e de 5.055 m³/ha na Bahia.

Tabela 26. Mudança 2025 no uso da água, por cultura e região, em CEN1 em milhões de m³, como resultado do desvio de política.

Uso da água	Rondonia	Amazon	ParaToc	MarPiaui	PernAlag	Bahia	RestNE	MinasG
Arroz em Casca	2,92	29,26	389,26	156,56	0,99	5,67	1,22	16,93
Milho em grão	3,11	7,65	25,60	31,67	0,04	9,92	1,11	78,31
Trigo e Cereais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	10,73
Cana de Açúcar	0,00	0,07	80,86	84,26	1,52	73,15	14,05	684,92
Soja	0,10	0,00	13,86	12,19	0,00	22,23	0,00	58,38
Outras culturas	4,20	21,20	57,97	59,84	1,44	122,06	1,90	142,39
Mandioca	3,83	20,58	22,70	26,48	0,30	5,14	0,06	2,37
Fumo	0,00	0,21	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00	0,00
Algodão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,87	0,06	5,37
Frutas Cítricas	0,84	3,84	68,47	1,17	0,17	2,75	0,36	18,31
Café	24,62	0,46	0,07	0,00	0,01	27,90	0,00	84,36
Explo. Florestal	6,10	330,14	3,18	0,00	0,02	12,20	0,00	57,80
Total	45,73	413,40	661,97	372,17	4,48	298,03	18,77	1159,87

Resultado da simulação.

⁴³ Esses dados referem-se a uma média geral agregada do uso de água em todas as culturas consideradas e todos os hectares irrigados.

O uso da água por cultura em regiões áridas e semiáridas como o centro-norte da Bahia; interior dos estados do Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, região centro-sul do Ceará; sul e sudeste do Piauí são fortemente impactadas pelo clima quente e a irregularidade das chuvas, o que culminaria em uma pressão maior dos recursos hídricos nessas regiões.

O agregado “Outras Culturas”, que inclui culturas como o tomate, abacate, amendoim, batata inglesa, cebola, ervilha, feijão, girassol, pimenta, entre outras culturas que são essenciais para o desenvolvimento regional e geração de renda, são alimentos básicos no cardápio da população brasileira e são produzidas em praticamente todos os estados no Brasil, apresentaria o maior uso de água no estado da Bahia, Para, Tocantins, Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás.

O elevado uso de água no item exploração vegetal (Expl. vegetal) na região Amazônica (Amazon) também chama a atenção nas culturas do Açaí, Seringueira, Palmito, que são produzidas de forma irrigada em regiões de clima úmido e com boa regularidade de chuvas, o que não se faz, de fato, tão necessário a irrigação. Porém, pode-se tornar viáveis em períodos de entressafras mesmo em regiões com abundância de recursos naturais, o que reduziria a instabilidade da produção rural e geraria ganhos de produtividade ao agricultor.

Ao considerar a atual área irrigada na região Amazônica (Amazon), a expansão de 90.644 hectares irrigados nessa classe de produtos agrícolas elevaria o uso de água, consideravelmente, nessa região. O açaí foi produzido no estado do Amazonas de forma irrigada em 41 municípios de acordo com MMA (2011a), porém com pequenas áreas irrigadas que totalizaram 55 hectares no estado. Portanto, mesmo a atual área irrigada ser pequena, as simulações reportaram expansões nas culturas do Açaí, Seringueira e Palmito porque estas são as principais culturas produzidas na região, conforme reportado em MMA (2011a). Os demais hectares seriam distribuídos entre as culturas do arroz em casca, milho, outros produtos da lavoura, mandioca e frutas cítricas.

Os resultados das simulações sugerem que a expansão da irrigação na região Norte seria mais intensiva quando comparado a outras regiões do país em que a irrigação de culturas está melhor difundida. Nesse sentido, os resultados seguem em linha com os cenários propostos no PNRH (sessão 2.1.2 e 5.2) em relação as expansões de irrigação na região Norte. A tabela 27 mostra o resultado acumulado para o uso de água em milhões de m³ para as demais regiões em CEN 1. As culturas realçadas em cinza representam as de maior aumento do uso da água nessas regiões.

Tabela 27. Mudança acumulada no uso da água por cultura e região como resultado de CEN1 em milhões de m³ como resultado do desvio da política.

Uso da água	RioJespS	SaoPaulo	Parana	SCatRioS	MtGrSul	MtGrosso	Central
Arroz em Casca	0,63	0,95	15,15	1022,66	40,62	104,54	21,03
Milho em grão	0,53	5,26	8,65	0,29	7,42	258,37	42,32
Trigo e Cereais	0,00	0,09	0,66	0,10	0,20	0,47	0,64
Cana de Açúcar	50,31	195,52	146,92	0,00	464,10	350,28	794,09
Soja	0,00	1,27	9,31	7,28	15,24	460,80	53,25
Outras culturas	5,72	5,84	2,73	2,14	0,51	57,43	101,48
Mandioca	0,29	0,17	2,99	0,00	0,55	8,49	0,89
Fumo	0,00	0,00	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00
Algodão	0,00	0,30	0,41	0,00	0,24	169,57	2,46
Frutas Cítricas	0,15	22,52	0,37	0,05	0,41	9,90	13,52
Café	13,35	2,76	5,54	0,00	0,12	0,91	10,32
Explo. Florestal	0,68	1,93	0,51	1,01	0,00	10,07	18,55
Total	71,67	236,62	193,28	1033,60	529,39	1430,83	1058,55

Resultados da simulação.

A cana de açúcar seria expandida nos estados de Minas Gerais (tabela 26) e em São Paulo, Mato Grosso do Sul e Goiás (descrito na região Central) conforme ilustra a tabela 27. O uso médio da água por hectare seria de 5.029 m³/ha no Mato Grosso do Sul, 5.381 m³/ha no Mato Grosso e de 4.554 m³/ha em São Paulo e de 1.684 m³/ha em Santa Catarina e Rio Grande do Sul (ScatRioS), essa última com melhor regularidade de chuvas.

Normalmente, a irrigação na cana de açúcar em regiões tradicionais e que não tem problemas com falta de chuvas, é normalmente feita em áreas de novos plantios em fase inicial, o que representaria um consumo maior no uso da água como resultado da simulação à medida que novas áreas irrigadas fossem expandidas anualmente, o que eleva o uso da água como resultado da simulação nas culturas e no acumulado para 2025 como resultado da política.

O estado do Rio Grande do Sul continuaria a ser o maior produtor de arroz irrigado e seu potencial de expansão de áreas irrigáveis é de mais de 3,7 milhões de hectares segundo MI (2014a) e de 1,5 milhões de hectares na classificação de MIIP. Nesse sentido, os resultados das simulações representam uma pequena parcela do potencial de expansão da irrigação para a região. O arroz, a soja e outros produtos da lavoura seriam os de maior potencial, com destaque para o arroz irrigado nessa região. A relação de uso de água por hectare seria de 4.132 m³/ha para a região do Rio Grande do Sul e Santa Catarina.

O estado de São Paulo apresenta boa infraestrutura (rodovias, hidrelétricas, hidrovias) e a agricultura irrigada é praticada, especialmente, na região Norte e Centro-Oeste do estado

em que, a cana-de-açúcar, laranja, milho, feijão, soja, batata-inglesa, são culturas predominantes na região.

A partir desse ponto, os resultados obtidos nas simulações para os setores da pecuária, indústria e consumo das famílias são mostrados para as três simulações (CEN 1, CEN 2 e CEN 3), sendo possível observar a diferença entre estes.

Conforme descrito na sessão 4.1.2 (uso da água na pecuária) o consumo de água por tipo de animal foi realizado com base na necessidade hídrica média do grupo de animais avaliados. Assim, a mudança no uso da água na pecuária está associado ao crescimento populacional e ampliação da renda que afetam, o consumo médio das famílias. Os bovinos e outros animais vivos representam os usuários de maior uso dos recursos hídricos. Embora, o rebanho de suínos e aves vivas ser maior no país, em número de cabeças, o consumo de água médio diário nesse grupo de animais é menor do que o consumo de água médio diário na criação de bovinos. A tabela 28 reporta essas mudanças no uso da água em variação percentual e em milhões de m³ como resultados dos três cenários.

Tabela 28. Mudança no uso da água (% e milhões de m³) no CEN 1, CEN 2 e CEN 3 para os usuários da pecuária no Brasil em 2025 como resultado do desvio da política.

Usuários/ Pecuária	CEN 1		CEN 2		CEN 3	
	(%)	Milhões (m ³)	(%)	Milhões (m ³)	(%)	Milhões (m ³)
BovOutrAnim	0,14	7,84	0,11	5,87	0,07	3,25
LeitVacOuAni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SuinAvOvPesc	0,22	1,08	0,15	0,68	0,08	0,29

Resultado da simulação.

Embora o volume das exportações totais no país tenha aumentado (tabela 23), alguns setores não acompanhariam esse crescimento na produção e ainda apresentariam reduções no uso da água. Esse resultado decorre do nível tecnológico das indústrias, que não estão diretamente associadas à cadeia produtiva da agricultura, não ter sofrido nenhum choque tecnológico nas simulações de política. Como a agricultura irrigada foi diferenciada pela produtividade (efeito tecnológico no setor), os setores da cadeia produtiva de alimentos seguem o mesmo movimento de crescimento na produção e consequentemente a expansão no uso da água ocorre via elevação na produção.

Por exemplo, com as expansões dos canaviais é possível observar a substituição de fatores entre as indústrias petroquímica e as usinas de açúcar e álcool⁴⁴, o que implicaria em um aumento no uso da água nas usinas de açúcar e redução no uso da água nas indústrias petroquímicas. Além disso, os resultados das simulações mostram uma valorização cambial (-0,11 % de mudança na relação de troca entre a moeda local/externa no CEN 1) que impactaria negativamente nas exportações das indústrias que não estão associadas a cadeia de alimentos no país.

Portanto, a tabela 29 mostra a mudança no uso da água em variação percentual e em milhões de m³ para as indústrias no Brasil como resultado das simulações. Observe que o uso da água na indústria de laticínio também aumentaria, uma vez que, a água nessa atividade é utilizada, tanto para o resfriamento quanto nos processos e atividades, sendo o resultado é coerente com o crescimento na criação de bovinos e outros animais vivos produtores de leite.

Tabela 29. Mudança no uso da água (% e Mm³) para os usuários da indústria no Brasil no CEN 1, CEN 2 e CEN3 como resultado do desvio da política

Usuários/ Indústrias	CEN 1		CEN 2		CEN 3	
	Variação %	Milhões m ³	Variação %	Milhões m ³	Variação %	Milhões m ³
Minação	-0,19	-3,08	-0,14	-2,06	-0,08	-1,03
Carnes	0,39	0,12	0,27	0,08	0,14	0,03
Óleos veg.	0,51	0,46	0,36	0,31	0,19	0,14
Laticínios	0,23	9,01	0,16	5,91	0,08	2,66
Arroz Benefi.	0,12	0,01	0,08	0,00	0,04	0,00
Usinas Cana	0,60	3,41	0,42	2,26	0,22	1,01
Café Processado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Outros Prod. Alim.	0,26	0,71	0,18	0,47	0,09	0,21
Têxtil e Vestuário	0,08	6,70	0,06	4,23	0,03	1,94
Celulose, Gráfica	-0,07	-2,93	-0,05	-1,88	-0,03	-0,89
Gasolina	-0,09	0,00	-0,07	0,00	-0,04	0,00
Gasolina e Álcool	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Álcool	0,36	0,52	0,23	0,30	0,11	0,12
Óleo Combust.	-0,07	0,00	-0,05	0,00	-0,03	0,00
Petroquímica	-0,13	-0,16	-0,10	-0,10	-0,06	-0,05
Outros. Prod. Manuf.	-0,02	-0,70	-0,01	-0,50	-0,01	-0,29
Autom. Caminhão e Ônib.	-0,03	-2,16	-0,02	-0,99	0,00	-0,04
Metalúrgicos	-0,10	-0,73	-0,07	-0,46	-0,04	-0,21

Resultados das simulações.

⁴⁴ O modelo TERM-BR descreve essa substituição de fatores.

Com base nas estimativas de crescimento populacional regional e nos dados de consumo real das famílias, o uso dos recursos hídricos tenderia a se elevar e o resultado mais expressivo ocorreria no cenário 1. Esse aumento no uso da água no consumo das famílias é variável no tempo e no espaço. Essas alterações no padrão de consumo decorrem da melhora na renda média das famílias, o que indica que os resultados simulados são condizentes com as informações contidas na literatura.

Tabela 30. Mudança no uso da água (% e Mm³) acumulado para 2025 para os usuários dos setores de serviços e consumo das famílias no Brasil, no CEN 1, CEN 2 e CEN 3.

Serviços e consumo das Famílias	CEN 1		CEN 2		CEN 3	
	Variação %	Milhões m ³	Variação %	Milhões m ³	Variação %	Milhões m ³
Comercio	0,11	0,30	0,08	0,19	0,04	0,09
Transporte	-0,10	-0,07	-0,08	-0,05	-0,05	-0,02
Serviços	0,04	0,28	0,03	0,18	0,02	0,09
Consumo das Famílias	0,09	5,92	0,06	3,83	0,04	1,86

Resultados das simulações.

Os cenários simulados sugerem que regiões pouco citadas na literatura econômica, pela baixa representatividade na agricultura irrigada, apresentariam boas condições de expansão das áreas irrigadas, como a região Norte do país, o que impactaria positivamente nos agregados econômicos como geração de renda, consumo das famílias, gastos do governo e investimentos.

De modo geral, as regiões Centro-Oeste e Sudeste também apresentariam elevado potencial para expansão, especialmente nos estados do Mato Grosso, Minas Gerais e Goiás devido à grande área de terra, a disponibilidade hídrica e a estrutura para irrigação mais avançada do que a região Norte, por exemplo.

As simulações de cenários propostos levam em consideração um horizonte temporal de 13 anos. Assim, os resultados das três simulações indicaram que o cenário de maior uso nos recursos hídricos seria o cenário de água para todos (CEN1). Porém, o cenário mais plausível, dado a atual conjuntura econômica, seria o (CEN 3), cenário de menor expansão das áreas irrigadas e de menor projeção para o PIB nacional (1,5%) e que, conforme descrito na tabela 23, também promoveria resultados positivos nas variáveis macroeconômicas selecionadas. O CEN 2 segue a mesma lógica de crescimento do cenário 1 e o impacto nos recursos hídricos seria expressivo, porém menor do que no CEN 1. Entretanto, o crescimento do PIB proposto na simulação de 3,5% mostra-se mais irreal do que o proposto no CEN 3.

Como a restrição hídrica é limitante para as expansões de área irrigada, os resultados do cenário 1 foram desagregados e comparados com os resultados do CWB para o Nordeste do Brasil e, são descritos na seção seguinte.

6.2. Resultados para o Nordeste do Brasil

Nessa seção os resultados para os estados do Nordeste são analisados para as projeções de uso de água como resultados do modelo TERM-BR. Posteriormente, os resultados dos fluxos para a disponibilidade hídrica são ilustrados e o comparativo do excedente hídrico estadual com a demanda hídrica é discutida na sequência. A análise estadual para a demanda e oferta hídrica foi realizada somente para os estados do Nordeste por considerar essa região a mais susceptível a mudanças no uso da água dado alterações na irrigação.

6.2.1. Demanda para o uso de água

Para entender os possíveis efeitos de uma expansão de áreas irrigadas, os resultados simulados em CEN 1 foram utilizados nas estimativas de balanço hídrico para os estados do Nordeste do Brasil e com base nesses, foi possível estimar o excedente hídrico das bacias que abastecem essa região. As tabelas 31 e 32 apresentam os resultados da simulação no cenário 1 em hectares irrigadas por cultura, o uso da água em Mm³.

Os resultados da política simulada em CEN1 para as 4 regiões do modelo TERM-BR que compõem o Nordeste do Brasil foram desagregados em estados, ponderando os resultados simulados pelas áreas irrigadas da base de dados, o que permitiu a análise com a disponibilidade hídrica de cada estado.

Tabela 31. Mudança nas áreas irrigadas (em hectares) como resultado da política de CEN 1 acumulado para 2025.

Culturas	MA	PI	CE	RN	PB	SE	PE	AL	BA	Total
Arroz em Casca	11.473	24.755	75	25	26	83	89	58	1.455	38.039
Milho em grão	4.604	4.805	152	33	83	57	10	1	6.757	16.502
Trigo e Cereais	0	0	0	0	0	0	0	0	30	30
Cana de Açúcar	9.249	1.391	47	490	504	299	72	96	6.744	18.892
Soja	7.254	0	3	0	0	0	0	0	10.177	17.434
Outras culturas	3.911	11.493	157	77	54	64	200	10	24.149	40.115
Mandioca	4.320	636	1	2	1	10	31	31	1.425	6.456
Fumo	0	0	0	0	1	1	0	4	84	90
Algodão	0	0	0	4	5	0	0	0	4.700	4.709
Frutas Cítricas	75	176	2	0	0	20	14	9	545	841
Café	0	0	0	0	0	0	1	0	6.434	6.435
Explo. Florestal	0	0	0	0	0	0	2	0	4.051	4.053
Hectares	40.887	43.255	437	632	674	533	419	209	66.551	153.596

Resultado da pesquisa.

Maranhão, Piauí (MarPiauí) e Bahia seriam os estados de maior expansão na agricultura irrigada na região nordeste. O potencial de expansão na classe territorial de MIIP em MI (2014), para esses estados, seria de 268.152, 308.941 e 393.859 hectares irrigáveis, respectivamente, o resultado da simulação representa 15%, 14% e 17% do potencial de áreas irrigáveis para esses estados.

A expansão da área irrigada no estado de Alagoas representaria 10,23% do potencial regional descrito em MIIP (2.043 hectares). Porém, o estudo de MI (2014) reporta uma área irrigada para o estado de Alagoas de no máximo 325.321 hectares (irrigado mais irrigáveis). Entretanto, especificamente para o estado de Alagoas, o resultado da simulação de política adicionado as áreas irrigadas levariam a uma área irrigada superior a capacidade potencial para a região. Tal fato ocorreria se os dados descritos em MMA (2011a) estiverem corretos para o ano de 2006 e a expansão de áreas irrigadas (mesmo com baixo percentual ao longo dos anos) ocorresse sem a devida contrapartida da oferta, o que intensificaria os conflitos no uso da água no estado.

Ressalta-se que, os dados simulados para a expansão das áreas irrigadas nos estados de Alagoas e Pernambuco foram simulados sobre uma área irrigada observada para 2012 superior a descrita pela Agência Nacional das Águas⁴⁵, conforme descrito na seção 4.1.5, o que sugere um impacto maior nos recursos hídricos nessas regiões.

⁴⁵ Ver comparativo das duas bases de dados que reportam áreas irrigadas para o estado de Alagoas e Pernambuco na tabela 11.

O potencial máximo de irrigação para o Nordeste na classe de áreas em MIIP seria de 1.056.424 hectares irrigáveis. Os resultados da simulação representariam 14,5% do total dessas áreas. A expansão de áreas irrigadas nesses estados promoveria aumento no uso da água ao longo do tempo e a região do MarPiauí se destacaria como a de maior crescimento no uso da água, seguido pela região da Bahia.

Nesse cenário, o estado da Bahia seria o de maior expansão das áreas irrigadas, em praticamente todas as culturas, com destaque para o agregado denominado de “Outras Culturas”. A Bahia apresenta a mais extensa costa litorânea com acesso ao Oceano Atlântico e, dentro dos estados do Nordeste representa a maior extensão territorial, a maior população e o maior produto interno bruto, com área irrigável na categoria MIIP de 393.859 hectares potenciais para expansão.

Os valores de uso da água acumulados para 2025 por tipo de cultura são apresentados na tabela 32. Cada estado apresentava um portfólio diferente de produção irrigada descrito em MMA (2011a), por exemplo, 43 culturas foram utilizadas na composição do portfólio da agricultura da Bahia, 28 culturas no estado de Alagoas, 37 culturas no estado do Ceará, 24 no estado do Maranhão, 35 na Paraíba, 38 em Pernambuco, 29 no RG Norte, 26 em Sergipe e 27 no Piauí.

O resultado da simulação de CEN 1 sugere que a ampliação no uso de água ocorreria nas culturas principais, ou seja, as de maior área irrigada simulada. Os resultados da tabela 32 reportam um volume de água médio por grupo de cultura.

Tabela 32. Mudança no uso de água em CEN 1 acumulado para 2025 em Milhões de m³.

Tipos de culturas	MA	PI	CE	RN	PB	SE	PE	AL	BA	Total
Arroz em Casca	49,58	106,98	0,44	0,15	0,15	0,48	0,60	0,39	5,67	164,44
Milho em Grão	15,50	16,17	0,52	0,11	0,28	0,19	0,03	0,00	9,92	42,72
Trigo e Cereais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,07
Cana de Açúcar	73,25	11,01	0,49	5,14	5,29	3,14	0,65	0,86	73,15	172,98
Soja em Grão	12,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	22,23	34,42
Outras Culturas	15,19	44,65	0,85	0,42	0,29	0,35	1,37	0,07	122,06	185,25
Mandioca	23,09	3,40	0,00	0,01	0,00	0,04	0,15	0,15	5,14	31,98
Fumo em Folha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,08
Algodão	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	16,87	16,93
Frutas Cítricas	0,35	0,82	0,03	0,00	0,00	0,33	0,10	0,06	2,75	4,44
Café em Grão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	27,90	27,91
Explo. Florestal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	12,20	12,22
TOTAL	189,14	183,03	2,33	5,85	6,05	4,53	2,92	1,55	298,03	693,43

Resultado da simulação.

O uso da água no agregado “Outras Culturas”, pode não representar as peculiaridades regionais e implica no aumento médio no uso de água para todas as culturas desse agregado, que conforme discutido na seção anterior representa um portfólio de produtos agrícolas essenciais para o desenvolvimento econômico e regional. O uso da água em outras culturas seria mais expressivo na Bahia e o arroz irrigado no Piauí.

O estado do Ceará apresentaria relevância na expansão das áreas irrigadas para a promoção do desenvolvimento regional, com uma economia diversificada. Porém, um fator limitante para a expansão da agricultura irrigada no estado é a distribuição de chuvas que não é homogênea, conforme descrito na seção 2.2.2, algumas regiões apresentam elevada evaporação e baixa precipitação e/ou irregularidade de chuvas, causando a sazonalidade de determinados rios e limitando o acesso a água.

As simulações de expansões de área irrigada no Nordeste buscaram levar em consideração a elevada área irrigada contida nos dados bases (Pernambuco e Alagoas, em especial) e promover expansões maiores nos estados cuja literatura indicava uma maior disponibilidade hídrica como a Bahia, Maranhão e Piauí. Outro ponto a considerar foi em relação aos coeficientes técnicos⁴⁶ como resultado da simulação não deveriam divergir dos coeficientes da base de dados.

Portanto, mesmo a cana de açúcar⁴⁷ não ser a cultura de maior expansão de áreas irrigadas no Nordeste, esta seria a segunda maior cultura no uso de água conforme mostra a tabela 32. Os resultados acumulados da política do CEN 1 na cana de açúcar para o Brasil totalizariam 549.342 hectares irrigados e destes, 18.892 hectares irrigados (3,43% do total nacional) ocorreriam no Nordeste.

6.2.2. Disponibilidade hídrica

O balanço hídrico climatológico estimou a contribuição do excedente hídrico em nível de estado e essa contribuição pode divergir da literatura em termos de bacias hidrográficas. Esse problema ocorre ao estabelecer uma unidade que fossem uma mescla entre os limites das bacias e dos estados, o que torna impossível precisar o volume de água gerado nas regiões, mas fornece um excelente indicativo de como ocorre a distribuição de águas dentro dos estados.

⁴⁶ Conforme descrito em MMA (2011a, p.162).

Na região dos trópicos (especialmente no Nordeste do Brasil) a variabilidade da precipitação implica em perdas na produção, riscos ao agricultor, insegurança alimentar, entre outros, a irrigação pode entrar de forma suplementar ou total nas regiões. Como a medição da disponibilidade hídrica regional, para o uso nos modelos CGE, é uma das variáveis mais difíceis de serem observadas, conhecer o fluxo fluvial das bacias hidrográficas que abastecem os estados do Nordeste do Brasil torna-se imprescindível para o avanço das discussões de expansão de área irrigada.

Esse fluxo é essencial para estimar o abastecimento estadual e comparar com as projeções de demanda simuladas no modelo TERM-BR. Dado que a divisão das bacias hidrográficas brasileiras não apresenta as mesmas delimitações geográficas dos estados, a regionalização e compatibilização com as projeções do modelo TERM-BR tornam-se aproximações que devem ser analisadas com ressalvas.

Algumas bacias hidrográficas recebem água de outras bacias hidrográficas que são áreas de captação em outras regiões (estados), o que eleva o volume de água na região seguinte via excedente hídrico da bacia anterior. Em outros casos, a bacia hidrográfica pode apresentar rios pequenos e a área de captação de água pode ser a mesma do fornecimento, o que reduz a disponibilidade hídrica na bacia, como por exemplo: as bacias nos estados do Rio Grande do Norte (RN) e Paraíba (PB).

Alguns estados são delimitados pelo mesmo curso d'água, é o caso da divisa entre Alagoas e Pernambuco (rio S. Francisco). Ou seja, a soma dos excedentes da 742 (Alagoas) + 744 (Pernambuco) pode não ser suficiente para o consumo de água da região

Portanto, a figura 17, mostra por estado, quais bacias forneceriam excedentes e para quais regiões. Assim, os códigos das bacias, que estão destacados pelo quadrado vermelho, em cada fluxo-estado, representa a bacia dentro do estado. Por exemplo, as bacias 752 e 743 são bacias do estado da Bahia, as bacias 742 e 731 são bacias do estado de Alagoas e, assim por diante. Sendo assim, o fluxo para cada estado pode ser visualizado na parte A da figura 17 e na parte B da figura 17 ilustra-se uma situação do fluxo de excedentes para o estado de Sergipe.

Para o rio São Francisco, o volume de água do rio é maior (quando considerado a totalidade do rio), recebe água a partir do estado de Minas Gerais (Centro-Oeste do Brasil). Então, temos que no caso da região Costeira NE oriental/Alagoas (731), a água é consumida e produzida na mesma região de captação, pois não existe excedente de bacias acima ou abaixo do estado. Na região do São Francisco/Alagoas (742), temos excedente de outras bacias hidrográficas (744 rio São Francisco/Pernambuco) que contribui para o abastecimento da região de Alagoas. Porém, a precipitação média e a evapotranspiração real também são maiores na bacia 742, parcela de Alagoas.

A seguinte subseção faz um comparativo entre os resultados do excedente hídrico e da demanda pelo uso da água por estado.

6.2.3. Comparativo entre o excedente hídrico e a demanda estadual

O comparativo entre excedente hídrico e demanda pelo uso de água aqui descrito, refere-se, essencialmente, a mudanças no uso da água em cada bacia e como essas mudanças afetam os excedentes hídricos na bacia e, conseqüentemente, na disponibilidade hídrica dos estados.

É interessante observar que, mudanças no uso da água nos estados de Minas Gerais e Goiás, por exemplo, gerariam impactos no abastecimento hídrico de estados como Alagoas, Sergipe, Pernambuco. Portanto, a análise do aumento no uso da água decorrente de crescimento das áreas irrigadas não deve, por si só, estar condicionada ao nível do estado, mas da interação entre as regiões quanto a disponibilidade hídrica.

Nesse sentido, a tabela 33 apresenta o consumo estimado nas bacias que abastecem os estados do Nordeste no ano de 2005 e a estimativa para 2025, sem considerar o excedente hídrico das demais bacias. Considerando somente o consumo e a disponibilidade hídrica em cada bacia e em cada estado, a coluna denominada F_C_Bacia para o ano de 2005 e 2025, mostra a fração do consumo de água na bacia em % no estado nos anos de 2005 e 2025 respectivamente.

Tabela 33. Resultado do consumo de água estimado nas bacias que abastecem os estados do Nordeste, em 2005 e 2025 em m³.

			2005		2025	
UF	Bacia	Fração da Bacia	Consumo na bacia	F_C_Bacia	Consumo na bacia	F_C_Bacia
AL	731	48%	3.585.709.317	51%	3.968.040.328	57%
AL	742	52%	278.028.243	52%	309.144.782	58%
PE	732	29%	1.998.296.711	19%	2.209.048.867	21%
PE	744	71%	606.459.069	36%	688.929.048	54%
RN	734	100%	645.017.617	17%	782.422.124	21%
PB	733	100%	799.835.034	11%	988.024.696	14%
PI	721	99%	245.781.176	1%	472.589.801	1%
PI	736	1%	1.710.931	0%	82.570.734	2%
MA	662	9%	88.061.123	1%	202.945.158	2%
MA	711	71%	277.160.089	0%	474.956.059	0%
MA	722	20%	70.471.685	0%	138.521.749	0%
BA	743	54%	1.318.788.084	5%	2.128.192.947	8%
BA	752	46%	891.072.593	3%	1.313.449.790	4%
SE	741	34%	62.643.129	6%	75.499.218	7%
SE	753	66%	159.623.134	6%	187.666.958	7%
CE	723	11%	67.998.379	3%	82.570.734	3%
CE	735	89%	822.782.282	4%	989.306.925	5%

Resultados.

A hidrografia do Nordeste do Brasil é intermitente e irregular, muitos rios da região estão sujeitos às alterações do clima semiárido que, em alguns casos, tornam-se sazonais. No estado do Ceará, por exemplo, o baixo percentual de uso de água em relação a disponibilidade hídrica está associado ao tamanho da bacia considerada (735) que representa 89% do abastecimento no estado e apresenta distribuição não uniforme das chuvas dentro da bacia,

Essa bacia 735 (Costeira do NE Oriental/Ceará), é composta por inúmeras sub-bacias que estão mal distribuídas e o maior volume de chuva encontra-se na região litorânea ao norte do estado e, ao sul da bacia tem-se as regiões do sertão do Ceará com elevadas temperaturas e municípios que são susceptíveis a longos períodos de secas, o que ocasiona divergências entre oferta e demanda hídrica no estado.

Nesse estado, os rios temporários e sazonais são mais comuns do que os rios perenes, sendo o rio Jaguaribe o principal rio perene. Por causa da estiagem, vários poços e açudes para represar as águas dos rios foram construídos como o açude Orós e o Castanhão, sendo o Castanhão o de maior afluente em m³/s e as principais regiões com volume de água armazenado satisfatório encontram-se na região Norte do estado.⁴⁸ A literatura indica que a

⁴⁸ Ver acompanhamento da hidrologia na Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos do governo do estado do Ceará em FUNCEME (2017).

evapotranspiração pode atingir índices de 3.000 mm/ano na região do sertão, essa elevada evapotranspiração ocasiona grandes perdas para os reservatórios. Com isso, a agricultura irrigada não pode ser expandida em todo o estado, sua expansão deverá estar condicionada a regiões em que a relação entre o uso de água e a disponibilidade hídrica possa ser satisfatória.

Para o estado do Rio Grande do Norte (RN) e da Paraíba (PB) as bacias 734 (Costeira do NE Oriental/Rio Grande do Norte) e a bacia 733 (Costeira do NE Oriental/Paraíba) representam 100% da fração da bacia no estado. Como resultado das expansões de área irrigada, a fração de consumo de água na bacia passaria de 17% para 21% em uma região que apresenta bacias caracterizadas pela pouca extensão e pequena vazão de seus corpos d'água.

O principal açude para o estado da Paraíba é o Gramame Mamuaba, que fica na região litorânea do estado. O estado possui basicamente dois períodos chuvosos intercalados e compreendido entre os meses de fevereiro a maio e abrange praticamente todo o setor centro-oeste do estado da Paraíba e outro que ocorre entre os meses de abril e julho e abrange o setor leste do estado, abastecendo o estado com um volume de chuvas muito distintos⁴⁹.

Os demais estados do Nordeste seguem a mesma lógica de diferenças físico-climáticas como descrito para o estado do Ceará, com diferenças significativas para as microrregiões em cada estado. Porém, no caso do Maranhão e do Piauí também observamos o elevado percentual de abastecimento por águas subterrâneas, conforme descrito na tabela 5, o que impacta positivamente na oferta hídrica desses estados.

O estado de Sergipe é drenado por seis bacias hidrográficas que pertencem à duas grandes bacias brasileiras: a do rio São Francisco (bacia 741)⁵⁰ e a do Atlântico Leste (bacia 753), sendo a bacia do rio São Francisco a maior e a mais importante do estado. Assim, como nas demais regiões, os totais pluviométricos são maiores na faixa litorânea e decrescem em direção ao interior do estado. Mesmo os resultados mostrarem aumento no consumo de água nas duas bacias consideradas, os mesmos não permitem avaliar, dentro dessas, a distribuição do impacto da irrigação no estado.

A extração da água para a irrigação é feita diretamente nos rios e riachos, quanto de aquíferos através de poços tubulares profundos. No caso do estado da Bahia, a agricultura mecanizada com irrigação extensiva ocorre em boa parte na região hidrográfica do rio São Francisco (bacia 743). Além dos fatores climáticos, o relevo, a vegetação e o tipo de solo determinarão as melhores regiões dentro de cada estado para a expansão das áreas irrigadas e em termos de áreas potenciais, pode-se melhor visto no estudo de MI (2014).

⁴⁹ Ver relatório da AESA (2009).

⁵⁰ Nessa bacia inclui-se também as bacias do rio Japarutuba, rio Sergipe, ver SEAGRI-SE.

Portanto, como resultado da interação entre o modelo TERM-BR e o método CWB não foi possível verificar a relação de problemas de disponibilidade hídrica específicos, especialmente, nas bacias dos estados da Bahia, Ceará e Sergipe. Os maiores percentuais de uso de água foram identificados para os estados de Alagoas e Pernambuco, o que sugere que estes estados seriam os mais restritos para a expansão de área irrigada na região Nordeste.

A tabela 34 reporta a disponibilidade hídrica e a demanda hídrica (uso de água) considerando os excedentes oriundos de outras bacias, a principal alteração no resultado ocorreria nos estados de Alagoas e Pernambuco, onde a relação do consumo e excedente seria amenizado por conta do resultado positivo (excedente menos consumo) proveniente de outras regiões. No CEN 1, o consumo no estado de Alagoas seria de 50% da disponibilidade hídrica estadual, valor que atinge 26% em Pernambuco.

O estado de Alagoas apresentaria a menor expansão das áreas irrigadas na simulação (209 hectares). Porém, mesmo sendo a menor expansão de hectares irrigados simulados, o aumento no uso da água no estado de Alagoas de 5 % representaria um aumento de 413 milhões de m³ de água, que também está relacionado também ao crescimento populacional, bovinos e uso de água na indústria.

O crescimento de 2% na relação entre demanda hídrica e disponibilidade hídrica no estado da Bahia, representaria um aumento no uso de água de 931 milhões de m³ de água, sendo um dos principais estados do Nordeste para a expansão de áreas irrigadas com a melhor relação percentual entre disponibilidade hídrica e demanda hídrica, para as águas superficiais. Os estados do Maranhão e Piauí também apresentariam boa relação entre a demanda e a disponibilidade hídrica, e também apresentam alta disponibilidade de águas subterrâneas.

Tabela 34. Disponibilidade hídrica e demanda hídrica para os estados do Nordeste em 2005 e 2025 (CEN 1).

UF	2005 (em Mm³)			2025 em CEN 1 (Mm³)		
	Disponibilidade hídrica	Demanda Hídrica	Relação %	Disponibilidade hídrica	Demanda Hídrica	Relação %
AL	8.611	3864	45%	8.528	4.277	50%
PE	10.978	2605	24%	11.060	2.898	26%
RN	3.802	645	17%	3.802	782	21%
PB	7.306	800	11%	7.306	988	14%
PI	41.260	247	1%	41.177	476	1%
M						
A	161.992	436	0%	162.107	816	1%
BA	39.297	2.210	6%	38.644	3.141	8%
SE	96.375	222	0%	88.633	263	0%
CE	56.240	891	2%	18.597	1.072	6%

Resultado da interação entre oferta e demanda, CWB e TERM-BR.

Observe que a disponibilidade hídrica, mesmo sem considerar fatores climáticos, altera-se entre os períodos devido ao fluxo de excedentes que se altera em cada bacia. Os resultados acumulados da política simulados para o CEN1, por região hidrográfica, foram comparados com as informações descritas nos cenários do PNRH⁵¹ e são reportadas na tabela 35.

Em termos percentuais, as expansões de área irrigada promoveriam um aumento no uso da água maior na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia (97%), ou seja, um volume maior de 2.379 milhões de m³ de água a mais como resultado da simulação. Essa região hidrográfica também abastece parte do estado do Mato Grosso (bacia 673) e do estado de Goiás (bacias 664,674 e 670). Esses dois estados (Mato Grosso e Goiás) estão localizados em regiões, que segundo o PNRH são viáveis a expansão da irrigação.

A região hidrográfica do Atlântico Nordeste Ocidental também deveria apresentar, segundo o PNRH, um elevado incremento no uso de água no CEN 1. Essa região hidrográfica é a principal região de abastecimento dos estados do Maranhão e Pará⁵², o que indica elevado potencial de expansão para as áreas irrigadas no estado nordestino. O aumento nessa região seria de 94%.

Portanto, os resultados para as regiões hidrográficas consideradas são condizentes com as informações descritas no PNRH. Para a região hidrográfica do rio São Francisco o resultado

⁵¹ Seção 2.1.2, tabela2.

⁵² Cerca de 9% no estado do Pará e 91% no estado do Maranhão, ver MMA (2006e).

da simulação os valores atingiriam 44% de aumento do consumo nessa bacia, ou seja, 1.827 milhões de m³ de água a mais nessa região hidrográfica.

Tabela 35. Uso de água distribuído para as Regiões Hidrográficas de análise, em 2005 e 2025.

PNRH	Uso 2005 (Mm ³)	Uso 2025 (Mm ³)	Aumento no consumo (var %)
Região Hidrográfica do Tocantins-Araguaia	2.447	4.826	97%
Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental	363	705	94%
Região Hidrográfica do Parnaíba	384	694	81%
Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental	7.853	8.940	14%
Região Hidrográfica do São Francisco	4.119	5.946	44%
Região Hidrográfica Atlântico Leste	1.830	2.488	36%
Região Hidrográfica Atlântico Sudeste	14.030	16.071	15%
Região Hidrográfica do Uruguai	2.910	3.752	29%

Resultados da interação entre CWB e TERM-BR.

A região do Atlântico Nordeste Oriental é região que oferece o menor potencial de expansão no uso da água entre as regiões hidrográficas que abastecem o Nordeste do país. Os resultados demonstraram que essa região hidrográfica, que abastece Alagoas (bacia 731), Ceará (bacia 735), Paraíba (bacia 733), Pernambuco (bacia 732), Piauí (bacia 736) e o Rio Grande do Norte (bacia 734), é a região que requer maior atenção nas expansões da irrigação. O uso de água e as projeções de uso de água com a disponibilidade hídrica deverão considerar um nível de desagregação de bacias e municípios maior do que o proporcionado nessa pesquisa.

Cabe ressaltar que a comparação da demanda hídrica exclusivamente pela disponibilidade hídrica na região, não descreve em sua amplitude, o potencial regional para a expansão da agricultura irrigada. Conforme salientado em (MMA, 2006a; MMA, 2006b, MMA, 2006c e MI, 2014) todas as regiões necessitam de investimentos em infraestrutura e ampliação do sistema de abastecimento regional para atender a demanda hídrica.

7. CONCLUSÕES

A elaboração das matrizes de uso de água permitiu analisar dados de retirada, consumo e retorno para os diferentes usuários de água no país. Com a matriz de uso de água foi possível verificar que a agricultura irrigada é o maior usuário entre os setores analisados. A cultura da cana de açúcar foi a de maior área irrigada entre as culturas no país, seguido pela cultura do arroz, o que indica a importância dessas culturas para as expansões de área irrigada no país.

A matriz para a agricultura irrigada também permitiu verificar que regiões como Minas Gerais e São Paulo apresentassem a maior diversidade de culturas irrigadas, 49 culturas, que incluiu o alho, abóbora, limão, coco, café, milho, cana de açúcar, arroz, palmito, fruta do conde, laranja e outras. O estado da Bahia apresentou a maior diversidade para a fruticultura irrigada na região do Nordeste e o estado do Pará na região Norte, o que demonstra a importância da manutenção de áreas irrigadas na fruticultura.

As maiores áreas irrigadas de soja estavam em Minas gerais, Mato Grosso, Goiás. Para o trigo, os estados de São Paulo, Paraná e Minas Gerais apresentaram as maiores áreas irrigadas. Culturas do extrativismo florestal como o Palmito foram irrigadas na Bahia, São Paulo, Goiás, Santa Catarina, com destaque para o estado da Bahia (824 hectares irrigados). A seringueira também foi produzida na Bahia, São Paulo e Mato Grosso, sendo o estado de São Paulo (1.110 hectares) o maior produtor de seringueira irrigada.

Os dados também mostraram que, com exceção do arroz irrigado que retorna 45% do volume de água retirado das bacias, o retorno de água nas demais culturas variou entre 19 e 21 e no Brasil, culturas como triticle, erva-mate, cevada, ervilha, agave ainda são pouco irrigadas no país.

O maior volume de retirada e retorno de água ocorreu no Rio Grande do Sul e a menor retirada no estado do Amapá. Portanto, essa diversidade de informações permitiu analisar as regiões com um maior nível de detalhamento para a agricultura irrigada e o uso de água. A irrigação no país está presente em todos os estados e nas mais variadas culturas.

Ainda em relação à base de dados, pode-se concluir que os dados relacionados a atividade industrial ainda são incipientes e a falta de informações quanto ao nível tecnológico e ao uso de água na indústria limita a análise regional. Os coeficientes técnicos utilizados em algumas atividades industriais mostraram a diferença tecnológica existente na mesma atividade, como foi o caso das indústrias de extração de pedra, areia e argila, produtos químicos, abate de animais, usinas de açúcar e álcool e outras, o que é um limitante ao avanço da indústria nacional, e pode gerar perdas maiores no uso de água.

A indústria de alimentos e bebidas, fabricação de produtos têxteis, artefatos de couro e calçados e indústrias químicas são os maiores usuários de água entre as atividades industriais, a soma dessas representa o consumo de quase 50% do total das indústrias no país. Quanto ao consumo das famílias, os dados mostraram que São Paulo é o maior usuário de água no consumo das famílias (26%), seguido pelo estado do Rio de Janeiro (11%) e Minas gerais (10%), condizente com estados populosos.

Portanto, com a elaboração da base de dados para a compatibilização do modelo utilizado na pesquisa, pode-se perceber que a agropecuária é o maior usuário de água (56%), seguido pela indústria (37%) e consumo das famílias (7%), o que diverge da literatura consultada e é justificado pelo maior nível de detalhamento realizado neste estudo. A grande variedade de informações regionais permitirá, no futuro, analisar os dados regionais com um detalhamento maior.

Em relação ao Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) pode-se concluir que muitos pontos descritos nos cenários não são possíveis de serem simulados e, os programas e subprogramas do plano impactam nos mecanismos e instrumentos de gestão e não necessariamente nos de previsão. Os cenários descritos no PNRH consideram a disponibilidade hídrica regional em todos as situações, mas a expansão da área irrigada não está dissociada de investimentos em infraestrutura, técnicas de irrigação e qualificação de mão de obra.

Portanto, os resultados do modelo sugerem que as expansões de área irrigada no Norte e Centro-Oeste, especialmente, são opções plausíveis em todos os cenários, resultado condizente com as descrições dos cenários do PNRH. As culturas da cana-de-açúcar, arroz e outros produtos da lavoura (que inclui a fruticultura) são os mais beneficiados por essa expansão.

O efeito mais notável sobre a demanda de água aconteceria na cultura da cana de açúcar que com a expansão de 549.342 hectares irrigados, elevaria a demanda por água em 2.940 milhões de m³ (19%), resultado condizente com um coeficiente técnico para o uso de água na irrigação mais elevado e similar a irrigações plenas ou irrigações realizadas em regiões de baixa pluviosidade. A segunda cultura de maior uso de água na irrigação segundo os dados seria o arroz irrigado, com 1.808 milhões de m³ de água (29%). Em termos regionais, a expansão no Mato Grosso (+612.380 hectares) elevaria em 92,56% o uso da água no estado.

O estudo destacou que o coeficiente técnico de uso da água na irrigação para a cana-de-açúcar representa, em especial, estados com reduzida pluviosidade e, em termos médios, não pode ser considerado exato em irrigações suplementares e pareceu ser mais condizente com irrigação plena, o que culminou em um uso maior de água nessa cultura.

Em relação ao estudo da disponibilidade hídrica para os estados do Nordeste, a heterogeneidade climática e hidrogeológica regional, incluindo a exploração e os riscos da atividade demandam pesquisas direcionadas de cunho microregional.

Os fluxos de excedentes mostraram como os estados do Nordeste são dependentes de bacias localizadas fora da região nordestina, como é o caso do rio São Francisco. Alterações no uso de água em bacias que são áreas de captação no rio São Francisco vão impactar no volume de água que deságua na região Nordeste.

As simulações destacaram a região RestNE (Ceará, Pernambuco, Alagoas e Sergipe) como os principais estados para o avanço na discussão de escassez hídrica e desenvolvimento regional com a irrigação. Essa região foi a região de menor expansão da área irrigada nos três cenários simulados. Porém, o impacto sobre os recursos hídricos nessa região é perceptível, especialmente, nos estados de Alagoas e Pernambuco, ou seja, a demanda hídrica necessária para contemplar todo o ciclo das culturas irrigadas na região Nordeste, mais o crescimento demográfico associado ao avanço produtivo exigiria uma maior disponibilidade hídrica das bacias.

Os resultados das simulações para a expansão da agricultura irrigada não devem ser vistos como uma situação de agravamento da quantidade, qualidade dos recursos hídricos no Brasil, por si só. A ampliação das áreas irrigadas no país eleva o nível tecnológico regional, aumenta a produtividade do setor, melhora o gerenciamento de riscos por parte do agricultor e ainda influencia toda a dinâmica regional em termos de logística e transporte.

Inúmeras possibilidades de cenários poderiam ter sido criadas e analisadas com combinações possíveis de choques para a expansão da área irrigada. Porém, deu-se prioridade as informações descritas no PNRH, adaptadas, conforme necessário, aos dados de evolução na produção regional, para avaliar um dos mais importantes instrumentos de gestão de recursos hídricos no país e destacar a necessidade de ampliar os ferramentais de previsão nesse instrumento.

Como limitação do estudo chama-se a atenção para o fato de que a análise de disponibilidade hídrica se restringe às regiões servidas pelas bacias. Ou seja, há importantes regiões dentro dos estados do Nordeste onde o balanço ao nível microrregional pode ser muito diferente e eventualmente insuficiente do que o analisado nessa pesquisa. É o caso, por exemplo, da região do semiárido nordestino e da região conhecida como o “polígono das secas”, uma região que abrange 1.348 municípios, sujeita a prolongados períodos das estiagens e com forte restrição na oferta de água, constitui-se de zonas geográficas com diferentes índices de aridez. Nosso modelo, contudo, não possui detalhamento regional suficiente para estes casos.

Estas limitações, se por um lado mostram a dificuldade de se trabalhar com o tema da oferta de água em um país grande como o Brasil, também apontam a direção de futuros esforços de pesquisa na área, uma vez que as incertezas relacionadas são obstáculos para o planejamento operacional e gerenciamento dos recursos naturais. Em estudos futuros sugere-se a inclusão de informações sobre mudanças climáticas e a ampliação do nível de sub-bacias nos estados do Nordeste e a análise de sensibilidade para outros coeficientes técnicos de uso de água, especialmente, para a agricultura irrigada.

REFERÊNCIAS

ABAS. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (2015). **Legislação**. Disponível em: <<http://www.abas.org/legislacao.php>> Acesso em dez. 2016.

ABIEC. Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne. (2016). **Perfil da Pecuária do Brasil: Relatório Anual 2016**.p.46.

ALBRECHT, J. C.; et al. (2007). BRS 254 E BRS 264: Novas cultivares de trigo irrigado para o cerrado do Brasil Central. In: **Resultados de pesquisa para o Cerrado 2005-2005**. Embrapa Cerrados. Planaltina, DF, 2007.

AMORIM, A. V.; GOMES FILHO, E.; BEZERRA, M. A.; PRISCO, J.T.; LACERDA, C. F. DE. (2011). Produção e fisiologia de plantas de cajueiro anão precoce sob condições de sequeiro e irrigado. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. V.15, n.10, p.1014-1020, Campina Grande –PB.

AMORIM NETO, M. S. (1989). Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather. Petrolina: EMBRAPA-CPATSA, 18 p. (**EMBRAPA-CPATSA**. Comunicado Técnico, 34).

ANA. Agência Nacional das Águas (2003). Superintendência de planejamento de recursos hídricos. Memorial descritivo do cálculo da demanda industrial de água contidas no documento: Base de referência do plano nacional de recursos hídricos. **Nota técnica 013/SPR/2003**. Brasília-DF. 4p.

ANA. Agência Nacional das Águas (2005). Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil. **Cadernos de recursos hídricos**. Brasília,124p.

ANA. Agência Nacional das Águas (2007). Disponibilidade de recursos hídricos no Brasil. **Caderno de recursos hídricos 2**. Brasília, 126p.

ANA. Agência Nacional das Águas (2009). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2009**. Brasília, 206p.

ANA. Agência Nacional das Águas (2010a). **Atlas Brasil: Panorama Nacional**. Brasília – Distrito Federal.92p.

ANA. Agência Nacional das Águas (2010b). **Os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos: Desafios para a gestão**. Brasília -DF– 20p.

ANA. Agência Nacional das Águas (2010c). **Atlas Brasil: Resultados por estado**. Abastecimento urbano de água. V.2. Brasília- DF, 92p., 31-50.

ANA. Agência Nacional das Águas (2013). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília – Distrito Federal. 434p.

ANA. Agência Nacional das Águas (2015). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe 2015**. Brasília – Distrito Federal. 88p.

- BARBOSA, H.A., KUMAR, T.L. (2016). Influence of rainfall variability on the vegetation dynamics over Northeastern Brazil. **Journal of Arid Environments**, v. 124, p. 377-387.
- BARRETO, D. (1999). Caracterização do consumo de água de aparelhos sanitários e economizadores de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES.
- BARRETO, D. (2008). Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23-40.
- BARROS, M. A. L.; SANTOS, RF dos; FERREIRA, P. F. (2003). Análise dos sistemas de produção identificados para os algodões de sequeiro e irrigado no estado da Paraíba. In: **Congresso Brasileiro do Algodão**. Campina Grande: EMBRAPACNPA.
- BARTH, F. T. (1987). **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos**. Ed. Nobel. 526p.
- BATES, B., KUNDZEWICZ, Z. W., WU, S., & PALUTIKOF, J. (2008). **Climate Change and Water**. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.
- BERRITTELLA, M., HOEKSTRA, Y., REHDANZ, K., ROSON, R., & TOL, R. (2005). Virtual Water Trade in General Equilibrium Analysis. **GTAP Conference Paper 1715**. 32p. Germany.
- BERRITTELLA, M., REHDANZ, K., ROSON, R., TOL, R. (2006). The Economic Impact of Water Pricing: A Computable General Equilibrium Analysis. **Research Unit Sustainability and Global Change, FNU-96**. Hamburg University.
- BERRITTELLA, M.; HOEKSTRA, A. Y.; REHDANZ, K.; ROSON, R.; TOL, R. S. J. (2007.) The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis, **Water Research**, vol. 41, p. 1799-1813.
- BISWAS, B.C. (1988). Agroclimatology of the Sugar-Cane Crop. Geneva: **WMO**, No. 703. 90p.
- BRASIL. (1986). **NBR 9.649 da ABNT**. Projeto de redes coletoras de esgoto e sanitário. Disponível em:< <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.649-Projeto-de-Redes-de-Esgoto.pdf>> Acesso em 2015.
- BRASIL. (1997). **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 nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em:< http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Aceso em:2016.
- BRASIL (2000). **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000**. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em :< <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=371>> Acesso em 2016.

BRASIL (2003a). **Resolução nº32, de 15 de outubro de 2003.** Institui a Divisão Hidrográfica Nacional, em regiões hidrográficas. Disponível em< http://www2.ana.gov.br/Paginas/imprensa/noticia.aspx?id_noticia=12422> Acesso em 2015.

BRASIL (2003b). **Lei nº 10.785, de 18 de setembro de 2003.** Cria no Município de Curitiba o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE. Disponível em:< <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/curitiba/lei-ordinaria/2003/1078/10785/lei-ordinaria-n-10785-2003-cria-no-municipio-de-curitiba-o-programa-de-conservacao-e-uso-racional-da-agua-nas-edificacoes-purac>> Acesso em 2016.

BRASIL. (2011). **Portaria nº 2914, de 12 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em:<http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html> Acesso em 2015.

BRASIL. (2013). **Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013.** Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. Disponível em:<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/112787.htm> Acesso em 2015.

BRASIL. (2015b). **Portaria nº115 de 19 de junho de 2015.** Aprovar o estudo intitulado Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil, na forma de seu Relatório Técnico Final, como parte integrante do Plano Nacional de Irrigação. Disponível em:< http://www.saude.campinas.sp.gov.br/lista_legislacoes/legis_2015/U_PT-MS-GM-797_170615.pdf>Acesso em 2016.

BRESSIANI, D. A.; GASSMAN, P. W.; FERNANDES, J. G.; GARBOSSA, L. H. P.; SRINIVASAN, R.; BONUMA, N. B.; MENDIONDO, E. M. (2015). Review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: challenges and prospects. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, Beijing, Vol. 8, No. 3.

BRUINSMA J. The resource outlook to 2050: how much do land, water and crop yields need to increase by 2050? (2009).In: **Expert Meeting on How to feed the World in 2050**, Rome. Disponível em:. <<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/ResourceOutlookto2050.pdf>>Acesso em 02 jan. 2016.

BUAINAIN, A. M., GARCIA, J. R. (2015). Polos de Irrigação no Nordeste do Brasil. desenvolvimento recente e perspectivas. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 23.

CAKMAK, E., DUDU, H., & SARACOGLU, S. (2009). Climate Change And Agriculture In Turkey: A Cge Modeling Approach. *EconAnadolu 2009: Anadolu International Conference in Economics*.

CALZADILLA, A., REHDANZ, K., TOL, R. (2008). Water Scarcity and the Impact of Improved Irrigation Management: A CGE Analysis. **Kiel Institute of the World Economy**, Working Paper 1436, Kiel University.49p

- CALZADILLA, A., REHDANZ, K., TOL, R. (2011). The GTAP-W model: accounting for water use in agriculture. **Kiel Institute of the World Economy**, Working Paper 1745, Kiel University. 40p
- CALZADILLA, A., ZHU, T., REHDAZ, K., TOL, R., RINGLER, C. (2013). Economy Wide Impacts of Climate Change on Agriculture in Sub Saharan Africa.. V.93, 150-165p.
- CALZADILLA, A., REHDANZ, K., TOL, R. (2010a). The Economic Impact of More Sustainable Water Use in Agriculture: A CGE Analysis. **Journal of Hydrology**, 292–305.
- CALZADILLA, A., REHDAZ, K., TOL, R. (2010b). Climate Change Impacts on Global Agriculture. **Kiel Institute of the World Economy**, Working Paper 1617. Kiel University. 49p.
- CAMARGO, A.P.; MARIN, F.R.; SENTELHAS, P.C.; PICINI, A.G. (1999). Ajuste da equação de Thornthwaite para estimar a evapotranspiração potencial em climas áridos e super-úmidos, com base na amplitude térmica diária. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 2, p. 251-257.
- CAMPOS, J. N. B. (2012). A evolução das políticas públicas no Nordeste. In: MAGALHÃES, A.R. **A questão da água no Nordeste**. Brasília: CGEE, p.261-87.
- CAMPOS, J.N.B. (2014). Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. **Estudos avançados**, vol.28, n.82, São Paulo-SP.
- CARDOSO, F., OLIVEIRA, F., NASCIMENTO, F., VARELLA NETO, P. L., FLORES, P. (2008). Poços tubulares construídos no Brasil. In **Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas** (Vol. 15).
- CARMO, R. L.; DE SAMPAIO, D. R.; JOHANSEN, I. C. (2014). Transição demográfica e transição do consumo urbano de água no Brasil. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 31, n. 1, p. 169-190.
- CARMO, J.F.A. (2013). Evapotranspiração da cana-de-açúcar irrigada por gotejamento subsuperficial no Submédio do Vale do São Francisco. 73 f. **Dissertação (Mestrado)**. Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro.
- CARVALHO, O. D. (1988). **A economia política do Nordeste: secas, irrigação e desenvolvimento**. Rio de Janeiro: Campos, 1988. 505p.
- CASTRO, C. N. DE. (2014). A agropecuária na região Centro-Oeste: limitações ao desenvolvimento e desafios futuros (No. 1923). **Texto para Discussão**, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).
- CECH, T.C. (2013). **Recursos hídricos – História, desenvolvimento, política e gestão**. 3ªed. Editora LTC- livros técnicos e científicos. 452p.
- CHALOULT, Y. (1980). A questão agrária e política do Estado: o Polonordeste. **Revista de Economia Política do Nordeste**, v. 11, n. 4. pp. 527-564, out/dez.

CHRISTOFIDIS, D. (1999). Recursos hídricos e irrigação no Brasil. In: workshop disponibilidade de água e irrigação no Nordeste, Brasília. **Anais Congresso**. Brasília: ISPN, 34p.

CHRISTOFIDIS, D. (2006). Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. In: Elimar Pinheiro do Nascimento; João Nildo de Souza Vianna. (Org.). **Economia, meio ambiente e comunicação**. 1ed. Rio de Janeiro: Garamond, v. 1, p. 141-162.

CHRISTOFIDIS, D.; CORDEIRO, L. A. M. ; SILVA, M. L. ; MARCHAO, R. L. ; GORETTI, G. S. (2013). Aspectos da dinâmica hídrica e do uso da água em sistemas sustentáveis de produção agropecuária no cerrado. In: Argemiro Luís Brum; Carolina Bilibio, Jeferson F. Selbach; Oliver Hensel. (Org.). **Sustentabilidade do uso da água nos trópicos e subtropicais: estudos de casos brasileiros**. 1ed. Ijuí: Unijuí da Universidade Regional do Noroeste, v. 1, p. 137-184.

CODEVASF. Companhia de desenvolvimento dos vales do São Francisco e do Parnaíba. (2010). Perímetros irrigados. Disponível em: <
<http://www.codevasf.gov.br/principal/perimetros-irrigados/polos-de-desenvolvimento-1/juazeiro-petrolina>> Acesso: 2016.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S.L de. 2005. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Série histórica. Disponível em: > <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>> Acesso em abril de 2015.

CONTINI, E., GASQUES, J., SAAB, A. A., BASTOS, E. T., SILVA, L. F. (2006). Projeções do Agronegócio Mundial e Brasil 2006/7 a 2016/7 – Assessoria de Gestão estratégica – Ministério de Agricultura, Pecuária e Pesca. Brasília, nov. 2007. **Dispositivo color**. Disponível: http://www.abmra.org.br/marketing/apresentacoes/projecoes_agronegocio_jose_gasques.pdf> Acesso em 2016.

COPPETEC. (2001). Projeto: Gestão dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, RJ. **Sistema de informações e de apoio à decisão de outorga para a bacia do Rio Paraíba do Sul: PGRH-RE-03-RO**. Rio de Janeiro: ANA; COPPETEC/UFRJ, 2001. 79 p.

CORREIA, R. C.; ARAÚJO, J. L. P.; CAVALCANTI, E. DE B. (2001). A fruticultura como vetor de desenvolvimento: o caso dos municípios de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA). In: **Congresso brasileiro de economia e sociologia rural**. Vol. 39.

CPT. Comissão Pastoral da Terra (2015). **Conflitos no uso da água**. Disponível em: <
<https://www.cptnacional.org.br/>> Acesso em 2016.

DECALUWÉ, B. DUMONT, J. C.; SAVARD, L. (1999). Measuring poverty and inequality in a computable general equilibrium model. Working Paper 9908, CRÉFA 99-05, **Département d'économique**, Université Laval.

DE MELO, S. R. O. R., DO AMARAL, M. A. C. M., SILVESTRE, W. V. D., & SACRAMENTA, T. M. (2013). Avaliação econômica da irrigação em pomares de açaí. **Revista brasileira de agricultura irrigada-rbai**, v. 7, n. 1.

DE SOUZA, O. P.; COUTINHO, A. C.; TORRES, J. L. R. (2010a). Avaliação econômica da produção do abacaxi irrigado CV Smooth Cayenne no cerrado. **Rev. Univ. Rural**, Sér. Ci. Vida. Seropédica, RJ, EDUR, v. 30, n. 1, Uberaba-MG.

DE SOUZA, O. P., TEODORO, R. E. F., DE MELO, B., & TORRES, J. L. R. (2010b). Qualidade do fruto e produtividade do abacaxizeiro em diferentes densidades de plantio e lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 5, p. 471-477, 2010.

DIAO, X., ROE, T. (2003). Can a Water Market Avert the “double-whammy” of Trade Reform and Lead to a “win-win” Outcome?. **Journal of Environmental Economics and Management**, p. 708–723.

DIAO, X., ROE, T. DOUKKALI, R. (2005). Economy wide gains from decentralized water allocation in a spatially heterogeneous agricultural economy. **Environ. Dev. Econ** 10: 249-269.

DIAO, X., NIN-PRATT, A. (2007). Growth Options and Poverty Reduction in Ethiopia: An Economy-wide Model Analysis. **Food Policy**. v.32, p.205-228. Washington, USA.

DIXON, P.B.; PARMENTER, B.R.; POWELL, A.A.; WILCOXEN, P. (1999). **Notes and problems in applied general equilibrium economic**. 2ed. Amsterdam: Butterworth Heinemann. 408p.

DIXON, P.B.; RIMMER, M.Y.; WITTWER, G. (2009). Modelling the Australian Government's buyback scheme with a dynamic multi-regional CGE model. **The Centre of Policy Studies (COPS)**, General paper nº G-186. Monash University.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. (1994). **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
ECO 92- Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992). **Agenda 21**. 3 a 14 de junho de 1992. Rio de Janeiro. Disponível em:
<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/agenda21.pdf>.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013a). Consumo de água na produção animal. **Comunicado técnico 102**. São Carlos –SP. Disponível em:<
<http://www.cppse.embrapa.br/sites/default/files/principal/publicacao/Comunicado102.pdf>>
Acesso em 2016.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2013b) **Mapas sobre irrigação no Brasil**. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/mapas-sobre-irrigacao>> Acesso em 2016.

ENGEORPS. **Manual de Outorga**. (1998). Secretaria de Recursos Hídricos, Fundação Arthur Bernardes, Engecorps. 210-SRH-MAO-RT-006/98. 1998. 163p.

FACHINELLO, A.L. Avaliação do impacto econômico de possíveis surtos da gripe aviária no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável (2008).160p. **Tese** (Doutorado em Ciências)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FAGERIA, N. K., FERREIRA, E., PRABHU, A. S., BARBOSA FILHO, M. P., & FILIPPI, M. C. (1995). Seja o doutor do seu arroz. **Arquivo do Agrônomo, Piracicaba -SP**, (9), 1-20.

FARSUL. Federação da Agricultura do Rio Grande do Sul (2014). Comparativo entre uma lavoura irrigada e de sequeiro no RS. Levantamento realizado por FARSUL/CEPEA.

Slide..Disponível em:<

http://www.clubedairrigacao.com.br/restrito/upload/downloads/arquivo_6.pdf> Acesso em 2015.

FÉRES, J., THOMAS, A., REYNAUD, A., MOTTA, R. S. D. (2005). Demanda por água e custo de controle da poluição hídrica nas indústrias da bacia do rio Paraíba do Sul. Texto para discussão (TD) 1084. **Repositório IPEA**.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M. J. (2006). The Doha Development Agenda and Brazil: Distributional Impacts. **Review of Agricultural Economics**, v. 28, p.362.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; MORAES, G. I. DE. (2014).Climate change, agriculture and economic effects on different regions of Brazil. **Environment and Development Economics** (Print), v. 20, p. 37-56.

FERREIRA FILHO, J. B. S.; HORRIDGE, M.(2014) Ethanol expansion and indirect land use change in Brazil. **Land Use Policy**, v. 36, p. 595-604.

FIESP. Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. (2015). **Outlook Fiesp 2025**: projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo, 92p.

FIRJAN. Federação das Indústrias do estado do Rio de Janeiro. (2007). **Manual de conservação e reuso de água na indústria**. Rio de Janeiro: DIM. 29p. Disponível em:< <https://www2.cead.ufv.br/sgal/files/apoio/saibaMais/saibaMais4.pdf> >Acesso em 2015.

FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos hídricos. Volume armazenado: Reservatório. **Dispositivo online**. Disponível em: www.hidro.ce.gov.br, acesso em janeiro de 2017.

GAVA, G. D. C., SILVA, M. D. A., SILVA, R. D., JERONIMO, E. M., CRUZ, J. C., & KÖLLN, O. T. (2011). Produtividade de três cultivares de cana-de-açúcar sob manejos de sequeiro e irrigado por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 15(3), 250-255. Campina Grande-PB.

GOMEZ, C., TIRADO, D., & REY-MAQUIEIRA, J. (2004). Water Exchanges Versus Water Works: Insights from a Computable General Equilibrium Model for the Balearic Islands. **Water Resources Research**. V.40, 11p.

GRIFFITH, M. (2012).Water Resources Modeling: A review. **In: Economic Modeling of Water: The Australian CGE Experience**. Austrália, 2012. cap2. p.59-75.

- GUERRA, A.F.; RODRIGUES, G.C.; ROCHA, O.C.; EVANGELISTA, W. (2003). Necessidade hídrica no cultivo do Feijão, Trigo, Milho e Arroz sob irrigação no Bioma cerrado. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. EMBRAPA. Planaltina –DF.
- HARRISON, W. J.; PEARSON, K. R. (1996). An introduction to GEMPACK. **GEMPACK user documentation GPD-1** (3rd ed). IMPACT Project and KPSOFT, September 1999.
- HASTENRATH, S., LAMB, P. (1977). **Climatic Atlas of the Tropical Atlantic and Eastern Pacific Oceans**. University of Wisconsin Press, 113 p.
- HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. (1993). Further work on the prediction of Northeast Brazil rainfall anomalies. **Journal of Climate**, v. 6, p. 743-758.
- HELFAND, S. M; REZENDE, G. C. de. (2000). Padrões regionais de crescimento da produção de grãos no Brasil e o papel da região Centro-Oeste. Texto para discussão nº 7331. **Repositório do Conhecimento do IPEA**. IPEA. 25p.
- HELFAND, S.; BRUNSTEIN, L. F. (2003). Mudanças estruturais no setor agrícola brasileiro e as limitações do Censo Agropecuário de 1995-1996. In: HELFAND, S.; REZENDE, G. C. (Org.). **Região e espaço no desenvolvimento agrícola brasileiro**. Rio de Janeiro: Ipea, p. 357-375.
- HORRIDGE, M. (2012). The TERM model and its Database. In: **Economic Modeling of Water: The Australian CGE Experience**. Australia,. cap2. p.13-35.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1991). **Censo Agropecuário 1985**. Anuário estatístico – vários números. Rio de Janeiro –RJ.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (1998). **Censo Agropecuário 1995-96**. Anuário estatístico – vários números. Rio de Janeiro –RJ.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2009) **Censo Agropecuário 2006**. (2009). Rio de Janeiro, 777p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2000). **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro-RJ. 23p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro-RJ. Disponível em:<
<https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/ppm/quadros/brasil/2015>> Acesso em 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). **Contas regionais do Brasil 2012**. Rio de Janeiro-RJ. 55p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2006). **Produção Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro, v. 33, 133p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007a). **Contagem da população**. Rio de Janeiro. 2007. 311p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2007b). Classificação Nacional das Atividades Econômicas. **CNAE**. Rio de Janeiro. 2007.423p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2008a). **Pesquisa industrial anual 2007..** Rio de Janeiro- RJ. disponível em :<
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/pia/produtos/produto2007/defaultproduto.shtm>> acesso em 20 de abril de 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2008b). **Pesquisa nacional por amostra de domicílio 2007**: Microdados. Rio de Janeiro-RJ.
 Disponível em:>
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2007/>>

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011). **Lista de produtos da Indústria – PRODLIST – indústria**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:>
http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/prodlist_industria/2010/prodlist2010.pdf.
 Acessado em janeiro de 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). **Pesquisa Nacional de saneamento básico**. Rio de Janeiro-RJ.
 Disponível em :>
http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaodevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf
 f> Acesso em junho de 2015.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2014). **Contas Regionais do Brasil**. Rio de Janeiro, 55p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). Sistema de Contas Nacionais (SCN). **Nota metodológica**. Rio de Janeiro-RJ. 27p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2016). **Contas regionais do Brasil: 2010-2014**. IBGE, Coordenação de Contas Nacionais. - Rio de Janeiro : IBGE, 2016. 97 p

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2017). **Estatística da Produção Agrícola**: Indicadores IBGE, Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 97.

ICWE (1992). The Dublin statement on water and sustainable development. **International conference on water and the environment**, 26 a 31 January, Dublin, Ireland. Disponível em:< <http://www.un-documents.net/h2o-dub.htm>> Acesso em 2015.

JUANA, J., STRZEPEK, K., KIRSTEN, F. (2011) Market efficiency and Welfare Effects of Inter-Sectoral Water Allocation in South Africa. **Water Policy** , v.13 (2), p. 220-231.

KONRAD, M. (2002). Efeito de sistemas de irrigação localizada sobre a produção e qualidade da acerola (Malpighia spp) na região da Nova Alta Paulista. **Dissertação**. UNESP. 134 f.

KOURI, J.; BARROS, M. A. L.; SANTOS, R. F. DOS. (2005). Análise dos sistemas e custos de produção do algodão de sequeiro e irrigado no estado da Paraíba. In: V **Congresso Brasileiro do Algodão**. Salvador - BH EMBRAPACNPA.

LEITE, S. A., CASTELLANI, M. A., RIBEIRO, A. E. L., MOREIRA, A. A., AGUIAR, W. M. M. (2016). Perfil dos fruticultores e diagnóstico do uso de agrotóxicos no polo de fruticultura de Livramento de Nossa Senhora, Bahia. **Extensão Rural**, v. 23, n. 2, p. 112-125.

LENNOX, J., DIUKANOVA, O. (2011). Modelling Regional General Equilibrium Effects and Irrigation in Canterbury. **Water Policy**, 13 (2), 250-264.

LETSOALO, A., BLIGNAUT, J., DE WET, T., DE WIT, M., HESS, S., TOL, R., ET AL. (2007). Triple Dividends of Water Consumption Charges In South Africa. **Water Resources Research**, 43 (5), 1-32.

LISBOA, L. (2010). Matriz de coeficientes técnicos de recursos hídricos para o setor industrial brasileiro. **Tese**. Viçosa, MG. 94p.

LOIOLA, M. L.; SOUZA, F. (2001). Estatísticas sobre irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 171-180.

LOPES, A. C. (2003). Efeito da irrigação e de épocas de colheita sobre a cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 1-8.

MAGALHÃES, A. S., CARVALHO, T. S., DE SOUZA, K. B., & DOMINGUES, E. P. (2015). Quanto vale a água que usamos? Projeções dos impactos econômicos de restrições ao uso e elevação de preços da água na região metropolitana de Belo Horizonte (**Texto para discussão. No. 528**). Cedeplar, Universidade Federal de Minas Gerais.

MAGALHÃES, A. S. (2013). Economia de Baixo Carbono no Brasil: alternativas de políticas e custos de redução de emissões de gases de efeito estufa, 290 p. (**Tese de Doutorado**). Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais

MARENGO, J.A., BERNASCONI, M., (2015). Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Clim. Change**. 129 (1e2), 103e115.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; PERES, F. C. (2008). Uso da árvore de decisão na escolha da lâmina de irrigação da pupunheira (*Bactris gasipaes* HBK) para Ilha Solteira, Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 3, p. 321-327.

MARQUES, P. A. A.; COELHO, R. D. (2003). Estudo da viabilidade econômica da irrigação da pupunheira (*Bactris Gasipaes* HBK) para Ilha Solteira-SP, Brasil. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p. 291-297.

MARTINS, E. S. P. R., MAGALHÃES, A. R. (2015). A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. **Parceiros Estratégicos**. Ed. Esp. Brasília-DF, v. 20, n. 41, p. 107-128.

MIERZWA, J.C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria – Uso racional e reúso**. Editora Oficina Editora Oficina de Textos. São Paulo, 144 p. 2005.

MI. Ministério da Integração Nacional (2005). **Relatório Final do grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas.** Brasília –DF, 118p.

MI. Ministério da Integração Nacional; IICA, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. (2014a). **Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil.** Ministério da Integração e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. 215p. Piracicaba-SP.

MI. Ministério da Integração Nacional (2014b). Projeto de Integração do Rio São Francisco. **Série de Vídeos.** Disponível em:< <http://www.mi.gov.br/web/projeto-sao-francisco>> Acesso em 2016.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno Setorial de Recursos Hídricos: Agropecuária** (2006a.). Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de recursos hídricos. Brasília-DF, 69p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006b). Plano Nacional de Recursos Hídricos: **Síntese Executiva.** Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília –DF. 143p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006c). Plano Nacional de Recursos Hídricos: **Águas para o Futuro.** Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília –DF. 96p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006d). Plano Nacional de Recursos Hídricos: **Diretrizes.** Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília –DF. 60p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006e). Plano Nacional de Recursos Hídricos: **Programas Nacionais e Metas.** Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília –DF. 84p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006f). **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Oriental.** Secretaria dos Recursos Hídricos - Brasília- DF, 106 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006g). **Caderno da Região Hidrográfica Parnaíba.** Secretaria dos Recursos Hídricos - Brasília- DF, 190 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006h). **Caderno da Região Hidrográfica São Francisco.** Secretaria dos Recursos Hídricos - Brasília- DF, 152 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006i). **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental.** Secretaria dos Recursos Hídricos - Brasília- DF, 130 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006j). **Caderno da Região Hidrográfica Atlântico Leste.** Secretaria dos Recursos Hídricos - Brasília- DF, 160 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006k). **Caderno da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.** Secretaria dos Recursos Hídricos - Brasília- DF, 136 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2006l). Caderno setorial de recursos hídricos: **Indústria e Turismo.** Secretaria dos Recursos Hídricos - Brasília- DF, 81 p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2011a). **Desenvolvimento de Matriz de coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília-DF. 265p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2011b). Plano Nacional de Recursos Hídricos: **Prioridades 2012-2015**. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília –DF. 124p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2014). **Conjunto de Normas legais: Recursos Hídricos**. Secretaria de Recursos Hídricos. 685p. Brasília –DF.

MMA. Ministério do Meio Ambiente (2015). **Informe sobre a implementação do Plano Nacional de Recursos Hídrico 2012-2014 e perspectivas para 2015**. Secretaria de Recursos Hídricos. Brasília –DF. 69p.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S.O. (2000). Dinâmica das chuvas sobre o Nordeste brasileiro, In: XI Congresso Brasileiro de Meteorologia. **Anais**. Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET CL00132, Rio de Janeiro, RJNELSON, D.R., FINAN, T.J., (2009). Praying for drought: persistent vulnerability and the politics of patronage in Ceara, Northeast Brazil. **Am. Anthropol.** 111, 302 e 316.

MORAES, G.I. (2010). Efeitos econômicos de cenários de mudanças climática na agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável. 267p. **Tese** (Doutorado em Ciências). Escola Superior em Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MOURA, A. R. C. MONTENEGRO, S. M. G. L., ANTONINO, A. C. D., AZEVEDO, J. R. G., SILVA, B. B., & OLIVEIRA, L. M. M. (2013). Evapotranspiração de referência baseada em métodos empíricos em bacia experimental no estado de Pernambuco-Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 2, p. 181-191, 2013.

NELSON, D.R., FINAN, T.J., (2009). Praying for drought: persistent vulnerability and the politics of patronage in Ceara, Northeast Brazil. **Am. Anthropol.** 111, 302 e 316.

NETO, J. C. C. (2016). A crise hídrica no estado de São Paulo. **Geousp – Espaço e Tempo** (Online), v. 19, n. 3, p. 479-484.

NORDEL, E. (1961). **Water Treatment for industrial and other uses**. Van Nostrand Reinhold Inc.,U.S.

NOBRE, P., MARENGO, J. A., CAVALCANTI, I. F. A., OBREGON, G., BARROS, V., CAMILLONI, I., FERREIRA, A. G (2006) Seasonal-to-decadal predictability and prediction of South American climate. **Journal of climate**, 19(23), 5988-6004.

NOBRE, P., AND J. SHUKLA, (1996). Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the tropical Atlantic and South America. **Journal of climate**, 2464–2479.

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2003). **Estimativas das vazões para as atividades do Uso consultivo da água em Bacias do Sistema Interligado Nacional –SIN**. Brasília: ONS; FAHMA-DZETA; ANA;ANEEL;MME, 220 P

ONS. Operador Nacional do Sistema Elétrico. (2005). **Estimativas das vazões para as atividades do Uso consultivo da água em Bacias do Sistema Interligado Nacional –SIN**. Brasília: ONS; FAHMA-DZETA; ANA; ANEEL; MME, 205 P.

ONUBR. Nações Unidas no Brasil. (2015). A ONU e a água. **Dispositivo online**. Disponível em :> <https://nacoesunidas.org/acao/agua/>< Acesso em: junho de 2015.

OYAMA, M.D., NOBRE, C.A., (2004). Climatic consequences of a large-scale desertification in northeast Brazil: a GCM simulation study. **Journal of Climate**, v. 17, n. 16, p. 3203-3213.

PEREIRA, A. (2005). Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas –SP. v. 64, n. 2, p. 311-313.

PEREIRA AR, ANGELOCCI LR AND SENTELHAS PC. (2002). **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 478 p.

PFAFSTETTER, O. **Classificação de bacias hidrográficas** – Metodologia de codificação. Rio de Janeiro, RJ: Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), 1989, 19p

PORTO, M. F.A; PORTO, R. L. L. (2008). Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 43-60, 2008.

PNUD. (2003). A competição pela água na agricultura. In:_____. **Objetivos de Desenvolvimento do Milênio: Um pacto entre nações para eliminar a pobreza humana**. Nova Iorque: PNUD, 2003. Cap 2, p.33-65. Relatório de Desenvolvimento.

POLZIN, DIERK; HASTENRATH, STEFAN. (2014). Climate of Brazil's nordeste and tropical atlantic sector: preferred time scales of variability. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 2, p. 153-160, 2014.

REBOUÇAS, A. da. C. (1997). Água na região Nordeste: desperdício e escassez. **Estudos avançados**, São Paulo-SP, v. 11, n. 29, p. 127-154.

REBOUÇAS, A. D. C., BRAGA, B. P. F., & TUNDISI, J. G. (2002). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras. São Paulo –SP.

RESENDE, G. M de. (1999). Características produtivas de cultivares de batata-doce sob condições irrigadas e de sequeiro na região norte de Minas Gerais. **Horticultura Brasileira**, v. 17, n. 2, Petrolina-PE.

REZENDE, R. S.; ANDRADE J. (2008). Árvore do conhecimento: Cana-de-açúcar. **Agência Embrapa de Informação**. Brasília- DF.
Disponível em:> <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/Abertura.html>> Acesso em 2016.

ROCHA, G.R., ALBURQUERQUE,C.J.B., BRANT,.R.S., OLIVEIRA,R.M.DE., SOUZA, R.R.J., MOREIRA,D.A. (2010). Espaçamento reduzido no cultivo do sorgo sequeiro e irrigado. In: **XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo**, Goiânia – GO.

ROE, T., DINAR, A., TSUR, Y., & DIAO, X. (2005). Feedback Links Between Economy-wide and Farm-level Policies: With Application to Irrigation Water Management in Morocco. **Journal of Policy Modeling**, 27 (8), 905–928.

ROSEGRANT, M., CAI, X., CLINE, S. (2002). World Water and Food to 2025: Dealing with Scarcity. Washington Dc: **International Food Policy Research Institute**.338p

ROSON, R. SARTORI, M. (2010). Water Scarcity and Virtual Water Trade in The Mediterranean. **Working Paper 08. Department of Economics, Ca' Foscari University of Venice**. Venezia, Italy. 19p.

SANTOS, A. B. DOS.; RABELO, R. R. (2004). Cultivo do arroz irrigado no estado do Tocantins. Sistema de produção. **EMBRAPA Arroz e Feijão**. Nº 3. Brasília –DF. Disponível em:>
<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozIrigadoTocantins/>>.

SANTOS,C.V. DOS. (2006). Política tributária, nível de atividade econômica e bem-estar: lições de um modelo de equilíbrio geral inter-regional.2006. 139p. **TESE** (Doutorado em ciências)- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SAWYER, D. (2002) Population and sustainable consumption in Brazil: In: **Population and environment in Brazil: Rio +10**. Campinas: CNPD, ABEP, NEPO, p. 225-254.

SILVA PAZ, V. P.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. (2000). Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 465-473.

SILVA, T. G., DE MOURA, M. S., ZOLNIER, S., SOARES, J. M., VIEIRA, V. J. D. S., & GOMES JR, W. F. (2011). Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro1. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, 15(12), 1257-1265.

SEAGRI. Secretaria de Estado da Agricultura, Desenvolvimento Agrário e da Pesca. Caracterização do estado: Hidrografia. **Dispositivo online**. Disponível em:<
<http://www.seagri.se.gov.br/informacoes/1/3/hidrografia>> Acesso em 2017.

SEUNG, C., HARRIS, T., ENGLIN, J., NETUSIL, N. (2000). Impacts of Water Reallocation: A combined Computable General Equilibrium and Recreation Demand Model Approach. **The Annals of Regional Science**, 473-487.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2007). Diagnóstico Anual de água e esgoto. **Dispositivo online**. Disponível em:< <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>> Acesso 2015.

SMAJGL, S., MORRIS, S., HECKBERT, S. (2009). Water Policy Impact Assessment – Combining Modelling Techniques in the Great Barrier Reef Region. **Water Policy**, v.11 (2), 191-202.

SOARES, E. (2013). Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Revista Geografias**, v. 9, n. 2, p. 75-86.

SOUZA, DANIEL DAS N.; CUNHA, FERNANDO F.DA.; SANTOS, OSVALDIR F. DOS.; BAILO, SIMONE P.DA S.; SOUZA, EPITÁFIO J.DE. (2014). Viabilidade econômica da produção de híbridos de tomate irrigado e em sequeiro. **XLIII Congresso brasileiro de engenharia agrícola** –CONBEA. Campo Grande-MS.

SOUZA, J.K.C., SILVA,S, NETO, J.D., SILVA,M.B.R., TEODORO, I. (2012). Importância da irrigação para a produção de cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. **Revista Educação Agrícola Superior** –ABEAS, v.27, n.2, p.133-140.

TEIXEIRA, F. J. C.; MACHADO, J. (2015). Secas no Brasil: a construção de outro modelo de gestão. **Parc. Estrat.** Ed. Esp. Brasília-DF. v. 20 • n. 41. p. 89-106.

THACKRAY, J. E.; COCKER, V; ARCHIBALD, G. (1978). The Malvern and Mansfield studies of domestic water usage. **Proceedings of the institution of civil engineers:** part 1- design and construction. v. 64, p. 37-61. London: Institution of Civil Engineers, fev.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. (1955). **The water balance**. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 104p.

TOSTA, A.L.; JÚNIOR, J. A.(2014). Irrigação na cultura da cebola, Universidade Federal de Goiás. Grupo GPID – ESALQ/USP. **Dispositivo online**.

Disponível em:> <https://gpidesalq.wordpress.com/2014/03/23/cebola-irrigada-e-seus-metodos/>> 2014.

TORRES, H.G., BICHIR, R.M., CARPIM, T.P. (2006). Uma pobreza diferente? Mudanças no padrão de consumo da população de baixa renda. **Novos Estudos Cebrap**, 74(mar).

TUCCI, C.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. de M. **Gestão da água no Brasil**. 2001. Disponível em:< <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001298/129870POR.pdf>> Acesso em 2015.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA TUNDISI, T. (2010). Ciência, tecnologia, inovação e recursos hídricos: oportunidades para o futuro. In: BICUDO, C. E. M.; TUNDISI, J. G.; SCHEUENTSUL, M. C. (Org.). **Águas do Brasil: análises estratégicas**. São Paulo: Academia Brasileira de Ciências; Instituto Botânica. p. 179-197.

VAN DER MENSBRUGGHE, D. (2010). The Environmental Impact and Sustainability Applied General Equilibrium (ENVISAGE) Model. **The World Bank**. Washington, DC. 96p.

VESCOVE, H. V. (2008). Citricultura irrigada Evolução X Produtividade. Grupo técnico de assistência e consultoria em citrus (**GTACC**).

Disponível em:<http://www.gtacc.com.br/pdf/irrigation/213.pdf> 2008.

VASCONCELOS, M. B., SOUSA, N. G., GENARO, D. T., LUZ, C. A., & TUPINAMBÁ, M. K. F. (2014). Histórico das Perfurações de Poços Tubulares no Estado do Piauí. **Revista de Geologia**, v. 27, n. 2, 2014.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital, 2006. 449 p.
Disponível em:<
http://www.icat.ufal.br/laboratorio/clima/data/uploads/pdf/METEOROLOGIA_E_CLIMATOLOGIA_VD2_Mar_2006.pdf> Acesso em: 27/09/2016.

YOUNG, M.; PROCTOR, W.; QURESHI, ME.; WITTWER, G. (2006). Without water: the economics of supplying water to 5 million more Australians. Water for healthy country flagship report, **CSIRO and Centre of Policy Studies**, Monash University, Melbourne.

YOU, G. RINGLER, C. (2010). Hydro-Economic Modeling of Climate Change Impacts in Ethiopia.. Washington, DC: **IFPRI. International Food Policy Research Institute**. Discussion Paper 00960.

UN DESA. United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2011). **World Urbanization Prospects: The 2011 Revision**. New York, United Nations. 109P.

WITTWER, Glyn (Ed.). **Economic modeling of water: the Australian CGE experience**. Springer Science & Business Media, 2012.

WWC. World Water Council. (2004). **E-Conference Synthesis: Virtual Water Trade - Conscious Choices**. Marseille: World Water Council, WWC Publications, n. 2, 31 p., Mar. 2004.

WWAP. United Nations World Water Assessment Programme (2009). **The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World**. London/Paris, Earthscan/UNESCO. 198P.

WWAP. United Nations World Water Assessment Programme. 2016. The United Nations World Water Development Report 2016: **Water and Jobs**. Paris, UNESCO, 148p

APÊNDICES

Apêndice A

Tabela A.1. Área irrigada e plantada por tipo de lavoura (2006)

UF	Área Total		Área Irrigada		Valor percentual (%)	
	Permanente	Temporária	Permanente (plantada)	Temporária (colhida)	Permanente	Temporária
Norte	441.563	1.837.153	24.870	103.873	5,63%	5,65%
RO	184.065	287.187	10.296	8.019	5,59%	2,79%
AC	7.615	92.731	239	797	3,14%	0,86%
AM	25.213	233.249	1.704	7.150	6,76%	3,07%
RR	3.826	32.405	289	12.652	7,55%	39,04%
PA	212.138	821.286	11.004	29.488	5,19%	3,59%
AP	4.341	4.525	176	363	4,05%	8,02%
TO	4.365	365.770	1.162	45.404	26,62%	12,41%
Nordeste	3.295.151	12.092.757	197.517	1.302.767	5,99%	10,77%
MA	18.615	1.527.586	2.283	47.408	12,26%	3,10%
PI	11.144	940.081	4.191	31.055	37,61%	3,30%
CE	1.992.401	1.970.997	25.098	126.031	1,26%	6,39%
RN	62.308	360.907	6.834	61.818	10,97%	17,13%
PB	29.806	1.155.453	8.758	85.617	29,38%	7,41%
PE	76.180	1.315.253	35.184	272.905	46,19%	20,75%
AL	28.524	1.394.361	3.166	418.086	11,10%	29,98%
SE	56.398	222.311	4.839	15.298	8,58%	6,88%
BA	1.019.775	3.205.808	107.164	244.549	10,51%	7,63%
Sudeste	2.520.623	7.727.283	509.691	1.381.213	20,22%	17,87%
MG	1.041.033	3.036.370	123.117	547.960	11,83%	18,05%
ES	470.501	144.551	165.545	36.288	35,18%	25,10%
RJ	32.943	120.657	4.408	39.160	13,38%	32,46%
SP	976.146	4.425.705	216.621	757.805	22,19%	17,12%
Sul	406.255	16.331.394	25.317	1.576.337	6,23%	9,65%
PR	199.715	7.327.638	8.933	318.743	4,47%	4,35%
SC	71.703	1.831.942	9.286	186.989	12,95%	10,21%
RS	134.837	7.171.814	7.098	1.070.605	5,26%	14,93%
Centro-Oeste	83.050	12.264.580	16.679	777.796	20,08%	6,34%
MT	5.393	2.442.958	662	170.207	12,28%	6,97%
MS	47.576	6.389.337	4.328	214.666	9,10%	3,36%
GO	27.472	3.344.471	10.482	378.000	38,16%	11,30%
DF	2.609	87.814	1.207	14.923	46,26%	16,99%
Brasil	5.046.642	50.275.547	774.074	5.141.986	15,34%	10,23%

Apêndice B.

Tabela B.1. Agregação das atividades no modelo TERM-BR.

Produtos		Classificação IBGE 110 produtos		Produtos		Classificação IBGE 110 produtos	
No.	String	No.	String	No.	String	No.	String
1	ArrozCasca	1	Arroz em casca	44	TextVestCalc	44	Benef. de algodão e de outros têxteis e fiação
2	MilhoGrao	2	Milho em grão	45	TextVestCalc	45	Tecelagem
3	TrigoOutCere	3	Trigo em grão e outros cereais	46	TextVestCalc	46	Fabricação outros produtos têxteis
4	CanaDeAcucar	4	Cana-de-açúcar	47	TextVestCalc	47	Artigos do vestuário e acessórios
5	SojaGrao	5	Soja em grão	48	TextVestCalc	48	Prep. do couro - exclusive calçados
6	OutPrServLav	6	Outros produtos e serviços da lavoura	49	TextVestCalc	49	Fabricação de calçados
7	Mandioca	7	Mandioca	50	OutManuf	50	Produtos de madeira - exclusive móveis
8	FumoFolha	8	Fumo em folha	51	CelPapGraf	51	Celulose e outras fabricação de papel
9	AlgodHerb	9	Algodão herbáceo	52	CelPapGraf	52	Papel e papelão, embalagens e artefatos
10	FrutasCitric	10	Frutas cítricas	53	CelPapGraf	53	Jornais, revistas, discos e outros prod. gravados
11	CafeGrao	11	Café em grão	54	OleoCombGas	54	Gás liquefeito de petróleo
12	ExplFlorSilv	12	Prod. da exploração flor. e da silvicultura	55	Gasolina	55	Gasolina automotiva
13	BovOutrAnim	13	Bovinos e outros animais vivos	56	Gasoalcool	56	Gasoálcool
14	LeitVacOuAni	14	Leite de vaca e de outros animais	57	OleoCombGas	57	Óleo combustível
15	SuinAvOvPesc	15	Suínos vivos	58	OleoCombGas	58	Óleo diesel
16	SuinAvOvPesc	16	Aves vivas	59	Petroquimic	59	Outros produtos do refino de petróleo e coque
17	SuinAvOvPesc	17	Ovos de galinha e de outras aves	60	Alcool	60	Álcool
18	SuinAvOvPesc	18	Pesca e aquicultura	61	OutManuf	61	Produtos químicos inorgânicos
19	Mineracao	19	Petróleo e gás natural	62	OutManuf	62	Produtos químicos orgânicos
20	Mineracao	20	Minério de ferro	63	Petroquimic	63	Fabricação de resina e elastômeros
21	Mineracao	21	Carvão mineral	64	OutManuf	64	Produtos farmacêuticos
22	Mineracao	22	Minerais metálicos não-ferrosos	65	OutManuf	65	Defensivos agrícolas
23	Mineracao	23	Minerais não-metálicos	66	OutManuf	66	Perfumaria, sabões e artigos de limpeza
24	Carnes	24	Abate e preparação de produtos de carne	67	OutManuf	67	Tintas, vernizes, esmaltes e lacas
25	Carnes	25	Carne de suíno fresca, refri. ou cong.	68	OutManuf	68	Produtos e preparados químicos diversos
26	Carnes	26	Carne de aves fresca, refr. ou cong.	69	OutManuf	69	Artigos de borracha
27	Carnes	27	Pescado industrializado	70	OutManuf	70	Artigos de plástico

28	OutProdAlim	28	Conservas de frutas, legumes e outros vegetais	71	OutManuf	71	Cimento
29	Oleos	29	Óleo de soja em bruto	85	AutomCamOnib	85	Caminhões e ônibus
30	Oleos	30	Outros óleos -exclusive milho	86	AutomCamOnib	86	Peças e acessórios para veículos automotores
31	Oleos	31	Óleo de soja refinado	87	AutomCamOnib	87	Outros equipamentos de transporte
32	Laticínios	32	Leite resfriado, esterilizado e pasteurizado	88	OutManuf	88	Móveis e produtos das indústrias diversas
33	Laticínios	33	Produtos do laticínio e sorvetes	89	Servicos	89	Sucatas recicladas
34	ArrozBenef	34	Arroz beneficiado e produtos derivados	90	Servicos	90	Eletricidade e gás, água, esgoto e limpeza urbana
35	OutProdAlim	35	Farinha de trigo e derivados	91	Servicos	91	Construção
36	OutProdAlim	36	Farinha de mandioca e outros	92	Comercio	92	Comércio
37	Oleos	37	Óleos de milho, amidos e féculas.	93	Transporte	93	Transporte de carga
38	UsiRefAcucar	38	Produtos das usinas de açúcar	94	Servicos	94	Transporte de passageiro
39	CafeProc	39	Café torrado e moído	95	Servicos	95	Correio
40	CafeProc	40	Café solúvel	96	Servicos	96	Serviços de informação
41	OutProdAlim	41	Outros produtos alimentares	97	Servicos	97	Intermediação financeira e seguros
42	OutProdAlim	42	Bebidas	98	Servicos	98	Serviços imobiliários e aluguel
43	OutProdAlim	43	Produtos do fumo	99	Servicos	99	Aluguel imputado
72	OutManuf	72	Outros produtos de minerais não-metálicos	100	Servicos	100	Serviços de manutenção e reparação
73	Metalurgicos	73	Gusa e ferro-ligas	101	Servicos	101	Serviços de alojamento e alimentação
74	Metalurgicos	74	Semi-acabados e tubos de aço	102	Servicos	102	Serviços prestados às empresas
75	Metalurgicos	75	Prod. da metalurgia de metais não-ferrosos	103	Servicos	103	Educação mercantil
76	Metalurgicos	76	Fundidos de aço	104	Servicos	104	Saúde mercantil
77	Metalurgicos	77	Produtos de metal - exclusive máq. e equip.	105	Servicos	105	Serviços prestados às famílias
78	OutManuf	78	Máq. e equip. e manutenção e reparos	106	Servicos	106	Serviços associativos
79	OutManuf	79	Eletrodomésticos	107	Servicos	107	Serviços domésticos
80	OutManuf	80	Máquinas para escritório e equip. de info.	108	Servicos	108	Educação pública
81	OutManuf	81	Máquinas, aparelhos e materiais elétricos	108	Servicos	109	Saúde pública
82	OutManuf	82	Material elet. e equip. de comunicações	108	Servicos	110	Serviço público e seguridade social
83	OutManuf	83	Aparelhos/instrumentos médico-hospitalar				
84	AutomCamOnib	84	Automóveis, camionetas e utilitários				

[illegible]

Continua (...)

Código nível 110	Descrição do Produto nível 110	0308 Jornais, revistas, discos	0309 Refino de petróleo e coque	0310 Álcool	0311 Produtos químicos	0312 Fabricação de resina e elastômeros	0313 Produtos farmacêuticos	0314 Defensivos agrícolas	0315 Perfumaria, higiene e limpeza	0316 Tintas, vernizes, esmaltes e lacas	0317 Produtos e preparados químicos diversos
030801	Jornais, revistas	1406834684	0	0	0	0	0	0	0	0	0
030901	Gás liquefeito de petróleo	0	73528,10857	0	0	0	0	0	0	0	0
030902	Gasolina automotiva	0	132736,0036	0	0	0	0	0	0	0	0
030903	Gasoálcool	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
030904	Óleo combustível	0	167116,7257	0	0	0	0	0	0	0	0
030905	Óleo diesel	0	0,243830581	0	0	0	0	0	0	0	0
030906	Refino de petróleo e coque	0	398219,7182	0	0	0	0	0	0	0	0
031001	Álcool	0	0	56202366,51	0	0	0	0	0	0	0
031101	Químicos inorgânicos	0	0	0	287457839,6	0	0	0	0	0	0
031102	Químicos orgânicos	0	0	0	87156861,37	0	0	0	0	0	0
031201	Resina e elastômeros	0	0	0	0	47694840,29	0	0	0	0	0
031301	Produtos farmacêuticos	0	0	0	0	0	23632840,5	0	0	0	0
031401	Defensivos agrícolas	0	0	0	0	0	0	1737758,943	0	0	0
031501	Perfumaria	0	0	0	0	0	0	0	5916490,321	0	0
031601	Tintas, vernizes	0	0	0	0	0	0	0	0	1524178,964	0
031701	Químicos diversos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15954924,84

Dados da pesquisa.

Continua (...)

Código nível 110	Descrição do Produto nível 110	0318 Borracha e plástico	0319 Cimento	0320 Outros minerais não-metálicos	0321 Fabricação de aço e derivados	0322 Metalurgia não-ferrosos	0323 Produtos de metal	0324 Máquinas e equipamentos	0325 Eletrodomésticos	0326 Escritório e informática	0327 Materiais elétricos
031801	Artigos de borracha	7.812.334	0	0	0	0	0	0	0	0	0
031802	Artigos de plástico	447.852	0	0	0	0	0	0	0	0	0
031901	Cimento	0	14.755.201	0	0	0	0	0	0	0	0
032001	Outros minerais não-metálicos	0	0	14.347.467	0	0	0	0	0	0	0
032101	Gusa e ferro-ligas	0	0	0	8.392.410	0	0	0	0	0	0
032102	Semi acabados	0	0	0	430.974.701	0	0	0	0	0	0
032201	Metais não-ferrosos	0	0	0	0	8.058.602	0	0	0	0	0
032202	Fundidos de aço	0	0	0	0	954.598	0	0	0	0	0
032301	Produtos de metal	0	0	0	0	0	3.866.282	0	0	0	0
032401	Máquinas e equipamentos	0	0	0	0	0	0	931.423.223	0	0	0
032501	Eletrodomésticos	0	0	0	0	0	0	0	191.602	0	0
032601	Escritório e informática	0	0	0	0	0	0	0	0	1.149.936	0
032701	Materiais elétricos	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160.882.815

Continua (...)

Código nível 110	Descrição do Produto nível 110	0328 Material eletrônico	0329 Instrumentos hospitalar	0330 Automóveis e utilitários	0331 Caminhões e ônibus	0332 Peças e acessórios para veículos	0333 Outros equipamentos de transporte	0334 Móveis e produtos das indústrias diversas
032801	Material eletrônico	27.248.524	0	0	0	0	0	0
032901	Instrumentos hospitalar	0	9.420.201	0	0	0	0	0
033001	Automóveis e utilitários	0	0	3.425.462	0	0	0	0
033101	Caminhões e ônibus	0	0	0	760.221	0	0	0
033201	Acessórios para veículos	0	0	0	0	3.983.676.960	0	0
033301	Outros equip. de transporte	0	0	0	0	0	641	0
033401	Móveis das indústrias diversas	0	0	0	0	0	0	317.389.598
033402	Sucatas recicladas		0	0	0	0	0	0

Fonte: Dados da pesquisa

Obs: O total geral para o uso da água na indústria foi de 15.811.061.043 m³ de água.

Apêndice D

Tabela D.1. Matriz comparativa de hectares irrigados por cultura descritos em MMA (2011a) e IBGE (2009).

CULTURA	MMA (2011a)	IBGE (2009)	Relação %	Retirada (M³)	Retorno (M³)	Consumo (M³)
1 Cana-de-açúcar	1.721.170	1.713.909	100	14.579.246.489	2.829.831.744	11.749.414.746
2 Arroz	1.076.840	1.136.308	95	7.884.514.442	3.542.389.275	4.342.125.167
3 Café	220.942	261.938	84	855.063.199	178.708.208	676.354.990
4 Banana	44.021	48.798	90	477.802.089	99.860.637	377.941.453
5 Milho	334.630	541.994	62	666.732.429	129.412.765	537.319.665
6 Feijão	166.486	369.244	45	439.852.200	85.375.312	354.476.888
7 Soja	354.551	805.042	44	497.328.401	96.531.443	400.796.958
8 Laranja	143.830	157.335	91	377.141.182	78.822.507	298.318.675
9 Manga	17.397	18.878	92	223.965.293	46.808.746	177.156.546
10 Côco	21.461	22.472	96	184.495.895	38.559.642	145.936.253
11 Mandioca	38.564	38.707	100	156.778.266	30.430.661	126.347.604
12 Melancia	33.924	65.620	52	167.691.461	35.047.515	132.643.945
13 Cebola	66.159	85.468	77	158.082.695	30.683.851	127.398.844
14 Cacau	17.236	17.340	99	89.766.523	18.761.203	71.005.320
15 Algodão	49.166	64.636	76	134.006.118	26.010.587	107.995.530
16 Goiaba	5.242	6.781	77	60.576.680	12.660.526	47.916.154
17 Tomate	14.682	34.382	43	65.224.851	12.660.144	52.564.708
18 Sorgo	29.845	28.537	105	78.457.052	15.228.514	63.228.538
19 Melão	8.981	11.910	75	50.832.905	10.624.077	40.208.828
20 Maracujá	8.647	11.552	75	49.275.586	10.298.597	38.976.989
21 Uva	8.679	12.713	68	41.981.622	8.774.159	33.207.463
22 Limão	6.598	9.673	68	41.708.567	8.717.090	32.991.476
23 Acerola	1.798	1.957	92	21.468.307	4.486.876	16.981.431
24 Cajú	5.553	7.139	78	26.540.333	5.546.930	20.993.404
25 Batata-inglesa	17.565	36.844	48	29.564.405	5.738.451	23.825.954
26 Seringueira	2.360			10.870.753	2.271.987	8.598.766
27 Fruta-do-conde	1.035	1.462	71	10.335.710	2.160.163	8.175.547
28 Alho	4.023	7.061	57	12.222.672	2.372.421	9.850.252
29 Pimenta do Reino	3.853	3.828	101	10.035.511	1.947.893	8.087.618
30 Palmito	1.156	1.794	64	3.906.309	816.419	3.089.890
31 Caqui	1.075	1.216	88	2.532.345	529.260	2.003.085
32 Abacaxi	7.107	8.300	86	11.801.469	2.290.665	9.510.804
33 Abóbora	4.395	9.016	49	9.240.064	1.793.496	7.446.568
34 Fumo	6.508	16.714	39	8.728.302	1.694.163	7.034.138
35 Mamão	6.187	12.679	49	7.962.008	1.664.060	6.297.948
36 Amendoim	2.489	5.351	47	6.305.737	1.223.944	5.081.794
37 Graviola	569	804	71	4.482.866	936.919	3.545.947
38 Tangerina	2.271	3.738	61	5.531.515	1.156.087	4.375.428
39 Açaí	909	1.156	79	3.596.845	751.741	2.845.105
40 Forrageira para corte	1.405	7.653	18	2.579.632	500.707	2.078.926
41 Mamona	1.322	2.164	61	1.752.845	340.227	1.412.618
42 Maçã	8.011	8.481	94	2.127.363	444.619	1.682.744

Continua (...)

CULTURA	MMA (2011a)	IBGE (2009)	Relação %	Retirada (M³)	Retorno (M³)	Consumo (M³)
43 Fava	482	1.715	28	1.287.293	249.864	1.037.429
44 Abacate	316	515	61	901.805	188.477	713.328
45 Figo	313	470	67	813.500	170.021	643.478
46 Pêssego	1.270	1.893	67	1.096.946	229.262	867.684
47 Malva	338	1.142	30	656.655	127.457	529.198
48 Amora	364	328	111	594.359	124.221	470.138
49 Agave (sisal)	192	578	33	521.002	108.889	412.113
50 Ameixa	557	748	74	435.439	91.007	344.433
51 Aveia	2.708	6.590	41	835.001	162.074	672.928
52 Erva-mate	254	370	69	235.125	49.141	185.984
53 Girassol	334	1.993	17	193.070	37.475	155.595
54 Trigo	601	58.792	1	212.701	41.285	171.416
55 Cevada	434	1.144	38	192.569	37.378	155.191
56 Ervilha	127	435	29	87.077	16.902	70.175
57 Triticale	486	1.662	29	116.711	22.654	94.057
Total Culturas	4.477.413,96	4.545.532	99%	27.480.288.191	7.386.520.337	20.093.767.853

Elaborado pela autora com dados de MMA (2011a).

Tabela D.2. Uso médio da água por cultura (m³/ha) no Brasil.

nº	CULTURA	Retirada/hectare	Retorno/Hectare	Consumo/Hectare
1	Cana-de-açúcar	8.471	1.644	6.826
2	Arroz	7.322	3.290	4.032
3	Café	3.870	809	3.061
4	Banana	10.854	2.268	8.586
5	Milho	1.992	387	1.606
6	Feijão	2.642	513	2.129
7	Soja	1.403	272	1.130
8	Laranja	2.622	548	2.074
9	Manga	12.874	2.691	10.183
10	Coco	8.597	1.797	6.800
11	Mandioca	4.065	789	3.276
12	Melancia	4.943	1.033	3.910
13	Cebola	2.389	464	1.926
14	Cacau	5.208	1.089	4.120
15	Algodão	2.726	529	2.197
16	Goiaba	11.556	2.415	9.141
17	Tomate	4.443	862	3.580
18	Sorgo	2.629	510	2.119
19	Melão	5.660	1.183	4.477
20	Maracujá	5.699	1.191	4.508
21	Uva	4.837	1.011	3.826
22	Limão	6.321	1.321	5.000
23	Acerola	11.938	2.495	9.443
24	Caju	4.780	999	3.781
25	Batata-inglesa	1.683	327	1.356
26	Seringueira	4.606	963	3.643
27	Fruta-do-conde	9.984	2.087	7.898
28	Alho	3.038	590	2.448
29	Pimenta do Reino	2.605	506	2.099
30	Palmito	3.380	706	2.673
31	Caqui	2.355	492	1.863
32	Abacaxi	1.661	322	1.338
33	Abóbora	2.102	408	1.694
34	Fumo	1.341	260	1.081
35	Mamão	1.287	269	1.018
36	Amendoim	2.534	492	2.042
37	Graviola	7.882	1.647	6.235
38	Tangerina	2.436	509	1.927
39	Açaí	3.957	827	3.130
40	Forrageira para corte	1.836	356	1.480
41	Mamona	1.326	257	1.068
42	Maçã	266	56	210

Continua (...)

nº	CULTURA	Retirada/hectare	Retorno/Hectare	Consumo/Hectare
43	Fava	2.668	518	2.150
44	Abacate	2.858	597	2.260
45	Figo	2.602	544	2.058
46	Pêssego	864	181	683
47	Malva	1.945	378	1.568
48	Amora	1.633	341	1.292
49	Agave (sisal)	2.716	568	2.148
50	Ameixa	782	163	619
51	Aveia	308	60	249
52	Erva-mate	927	194	733
53	Girassol	578	112	466
54	Trigo	354	69	285
55	Cevada	444	86	358
56	Ervilha	687	133	554
57	Triticale	240	47	194
Total m³/hectare		6.138	1.650	4.488

Elaborado pela autora com dados de MMA (2011a).

Tabela D.3. Matriz de uso da água na atividade da pecuária (consumo de água por animais vivos) em milhões de m³. suba esta pagina

No	String	Bovinos e outros animais vivos	Leite de vaca e de outros animais	Suínos vivos	Aves vivas	Ovos de galinha e de outras aves	Pesca e aquicultura
1	Rondônia	128,52	0,00	1,16	0,52	0,00	0,00
2	Acre	26,88	0,00	0,44	0,16	0,00	0,00
3	Amazonas	19,00	0,00	0,53	0,28	0,00	0,00
4	Roraima	8,61	0,00	0,16	0,03	0,00	0,00
5	Para	218,16	0,00	2,58	1,78	0,00	0,00
6	Amapá	3,81	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00
7	Tocantins	100,22	0,00	0,92	0,48	0,00	0,00
8	Maranhão	96,79	0,00	2,55	0,84	0,00	0,00
9	Piauí	68,43	0,00	3,53	0,86	0,00	0,00
10	Ceara	69,17	0,00	2,52	2,23	0,00	0,00
11	RGNorte	24,23	0,00	0,29	0,65	0,00	0,00
12	Paraíba	34,58	0,00	0,39	1,01	0,00	0,00
13	Pernambuco	59,19	0,00	1,02	3,92	0,00	0,00
14	Alagoas	16,83	0,00	0,34	0,61	0,00	0,00
15	Sergipe	16,40	0,00	0,29	0,58	0,00	0,00
16	Bahia	231,91	0,00	3,46	2,26	0,00	0,00
17	MinasG	313,54	0,00	12,15	9,24	0,00	0,00
18	EspSanto	27,61	0,00	0,83	1,77	0,00	0,00
19	RioJaneiro	30,21	0,00	0,41	1,37	0,00	0,00
20	SaoPaulo	166,79	0,00	5,70	25,09	0,00	0,00
21	Paraná	147,36	0,00	16,68	24,50	0,00	0,00
22	StaCatari	50,43	0,00	20,33	19,53	0,00	0,00
23	RGSul	224,15	0,00	20,48	14,02	0,00	0,00
24	MtGrSul	311,37	0,00	3,15	2,62	0,00	0,00
25	MtGrosso	311,87	0,00	4,72	3,19	0,00	0,00
26	Goiás	274,49	0,00	5,11	4,65	0,00	0,00
27	DF	1,58	0,00	0,40	1,22	0,00	0,00
Total		2.982,12	0,00	110,19	123,42	0,00	0,00

Elaborado pela autora com base em ONS (2005) e Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009).

Apêndice E.

Tabela E.1 Matriz de diferença de produtividade média por cultura e região do modelo.

PRODCROP	Rondonia	Amazon	ParaToc	MarPiaui	PernAlag	Bahia	RestNE	MinasG	RioJespS	SaoPaulo	Parana	SCatRioS	MtGrSul	MtGrosso	Central
Arroz	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Milho	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62	0,62
Trigo e Cereais	0,63	0,63	0,63	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,71	0,61	0,60	0,66	0,76	0,76
Cana de Açúcar	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Soja	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Outros Produtos	0,66	0,60	0,62	0,63	0,64	0,64	0,63	0,62	0,61	0,66	0,70	0,70	0,66	0,62	0,70
Mandioca	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Fumo	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
Algodão	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
Fruta Cítrica	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Café	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
FlorSilvicul	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71

Elaborado pela autora.

Apêndice F

Tabela F1. Mudança na base de área irrigada regional para o ano de 2012.suba

Estados	Censo 2006	MMA (2011a)	Diferença % de MMA (2011a) e IBGE(2009)	ANA (2012)	Nova Base 2012
AL	195.764	416.101	112,6%	222.684	465.415
BA	312.668	240.249	-23,2%	467.607	395.634
CE	117.381	99.657	-15,1%	133.336	128.509
MA	64.059	42.083	-34,3%	43.681	51.817
PB	58.683	81.027	38,1%	65.522	95.946
PE	152.917	253.629	65,9%	183.912	293.589
PI	30.948	22.200	-28,3%	34.225	29.695
RN	54.716	55.442	1,3%	62.165	70.124
SE	20.521	17.320	-15,6%	25.602	22.875
AC	1.454	951	-34,6%	831	1.130
AP	2.404	367	-84,7%	2.866	985
AM	6.204	4.882	-21,3%	4.954	5.965
PA	29.517	25.427	-13,9%	23.802	30.647
RO	14.130	13.420	-5,0%	12.055	16.057
RR	13.003	8.617	-33,7%	13.237	11.511
TO	42.870	32.466	-24,3%	147.378	64.728
ES	209.840	168.238	-19,8%	236.272	219.746
MG	530.041	420.907	-20,6%	824.946	601.252
RJ	81.748	39.506	-51,7%	111.845	63.988
SP	786.051	798.239	1,6%	1.027.504	1.021.686
DF	14.508	9.600	-33,8%	14.484	12.904
GO	297.924	247.368	-17,0%	525.072	362.057
MT	148.848	120.133	-19,3%	177.961	159.191
MS	120.521	129.434	7,4%	143.498	160.896
PR	105.455	130.117	23,4%	115.826	155.949
RS	997.108	942.267	-5,5%	1.027.473	1.163.565
SC	136.249	158.940	16,7%	148.335	191.208
BRASIL	4.545.532	4.478.587	-1,5%	5.797.073	5.797.073

Elaboração própria.

Apêndice G

Tabela G.1. Resultado da estimativa do balanço hídrico climatológico para os excedentes hídricos por bacia.

UF	Bacia	Área bacia Km	Fração UF	EXCM em m³	UF	Bacia	Área bacia Km	Fração UF	EXCM em m³
AL	731	28120	0,48	6.992.891.944	MT	673	136902	1,00	71.413.043.223
AL	742	28120	0,52	533.576.503	PA	620	340720	0,14	48.874.514.142
BA	743	570482	0,54	27.637.885.740	PA	640	340720	0,22	74.757.914.232
BA	752	570482	0,46	30.360.057.704	PA	661	340720	0,37	137.269.072.922
CE	723	150793	0,11	2.665.274.972	PA	672	340720	0,15	31.032.387.765
CE	735	150793	0,89	18.514.419.751	PA	712	340720	0,11	46.603.616.847
DF	665	2151	0,36	455.063.561	PB	733	57256	1,00	7.306.088.891
DF	748	2151	0,64	680.689.661	PE	732	99058	0,29	10.371.352.543
ES	751	46496	0,27	1.353.392.784	PE	744	99058	0,71	1.690.800.898
ES	760	46496	0,33	2.111.844.085	PI	721	254869	0,99	37.658.038.935
ES	762	46496	0,00	45.124.116	PI	736	254869	0,01	936.365.254
ES	770	46496	0,40	2.865.326.197	PR	774	15299	1,00	10.851.673.165
GO	664	201606	0,51	56.971.769.781	RJ	771	43592	1,00	8.215.823.699
GO	670	201606	0,00	312.220.354	RN	734	53440	1,00	3.802.058.369
GO	674	201606	0,47	51.677.826.826	RS	776	270139	0,44	83.030.504.159
GO	746	201606	0,01	1.327.665.835	RS	777	270139	0,09	11.333.063.998
GO	747	201606	0,00	147.237.588	RS	781	270139	0,47	87.359.017.643
MA	621	332386	0,00	969.954.170	SC	775	84543	0,43	27.395.812.272
MA	662	332386	0,09	12.101.567.557	SC	782	84543	0,57	38.474.181.375
MA	711	332386	0,71	140.723.784.828	SE	741	22066	0,34	1.038.456.334
MA	722	332386	0,20	21.180.333.008	SE	753	22066	0,66	2.869.756.265
MG	745	433577	0,55	63.501.598.305	SP	773	36263	1,00	30.461.606.252
MG	754	433577	0,24	8.936.810.927	TO	663	281272	0,62	78.502.229.394
MG	761	433577	0,17	15.511.858.836	TO	671	281272	0,38	59.768.483.108
MG	772	433577	0,05	6.349.572.266					

Resultados.

Apêndice H

Tabela H.1. Choque percentual realizado no CEN1.

TXCMAx1	Rondonia	Amazon	ParaToc	MarPiaui	PernAlag	Bahia	RestNE	MinasG	RioJEspS	SaoPaulo	Parana	SCatRioS	MtGrSul	MtGrosso	Central
1 Arroz	6,71	5,18	6,19	5,82	0,09	1,06	0,09	2,89	1,06	0,48	6,23	1,37	3,73	10,00	2,95
2 Milho	6,71	16,40	6,20	5,34	0,01	1,06	0,09	2,89	0,56	0,48	6,23	1,40	3,73	10,00	2,75
3 TrigoCereais	0,00	0,00	0,00	7,05	0,09	1,06	0,11	2,89	0,92	0,48	6,23	1,36	3,73	10,00	2,92
4 CanaAcucar	6,71	19,32	6,19	4,53	0,00	1,06	0,08	2,89	1,01	0,48	6,23	1,41	3,73	11,00	2,98
5 Soja	6,71	0,00	6,19	4,31	0,00	1,06	0,09	2,89	0,00	0,48	6,23	1,36	3,73	11,00	2,93
6 OutrProduto	6,71	17,23	6,20	6,03	0,02	1,06	0,05	2,89	0,40	0,48	6,23	1,46	3,73	10,00	2,49
7 Mandioca	6,71	17,35	6,21	4,53	0,07	1,06	0,02	2,89	1,29	0,48	6,23	1,42	3,73	10,00	1,85
8 Fumo	0,00	18,44	0,00	0,00	0,01	1,05	0,02	2,86	0,00	0,00	6,23	1,41	0,00	0,00	0,00
9 Algodao	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,05	0,07	2,89	0,00	0,48	6,23	0,00	3,73	10,00	2,98
10 FrutaCitrica	6,71	17,29	6,21	5,88	0,09	1,05	0,07	2,89	1,10	0,48	6,23	1,37	3,73	10,99	2,58
11 Cafe	6,71	17,86	6,21	0,00	0,09	1,05	0,09	2,89	0,23	0,48	6,23	0,00	3,73	10,00	2,36
12 FlorSilvicul	6,71	18,77	6,21	0,00	0,06	1,05	0,00	2,89	0,23	0,48	6,23	1,42	0,00	10,00	2,98

Tabela H.2. Choque percentual realizado no CEN2.

TXCMAx2	Rondonia	Amazon	ParaToc	MarPiaui	PernAlag	Bahia	RestNE	MinasG	RioJEspS	SaoPaulo	Parana	SCatRioS	MtGrSul	MtGrosso	Central
1 Arroz	4,44	4,05	4,84	4,55	0,07	0,76	0,08	2,06	0,77	0,35	4,87	1,00	2,82	8,14	2,20
2 Milho	4,44	14,22	4,85	4,14	0,01	0,76	0,08	2,06	0,40	0,35	4,87	1,02	2,82	8,14	2,05
3 TrigoCereais	0,00	0,00	0,00	5,57	0,08	0,76	0,09	2,06	0,67	0,35	4,87	0,99	2,82	8,14	2,18
4 CanaAcucar	4,44	16,82	4,84	3,47	0,00	0,76	0,06	2,06	0,74	0,35	4,87	1,03	2,82	8,14	2,22
5 Soja	4,44	0,00	4,84	3,29	0,00	0,76	0,09	2,06	0,00	0,35	4,87	0,99	2,82	8,14	2,18
6 OutrProduto	4,44	14,86	4,85	4,72	0,01	0,76	0,00	2,06	0,29	0,35	4,87	1,06	2,82	8,14	1,85
7 Mandioca	4,44	14,98	4,85	3,46	0,05	0,76	0,02	2,06	0,94	0,35	4,87	1,03	2,82	8,14	1,38
8 Fumo	0,00	15,97	0,00	0,00	0,00	0,76	0,07	2,05	0,00	0,00	4,87	1,03	0,00	0,00	0,00
9 Algodao	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,76	0,05	2,06	0,00	0,35	4,87	0,00	2,82	8,14	2,22
10 FrutaCitrica	4,44	14,91	4,85	4,60	0,07	0,76	0,07	2,06	0,80	0,35	4,87	0,99	2,82	8,13	1,93
11 Cafe	4,44	15,43	4,86	0,00	0,08	0,76	0,09	2,06	0,16	0,35	4,87	0,00	2,82	8,14	1,76
12 FlorSilvicul	4,44	16,29	4,86	0,00	0,06	0,76	0,00	2,06	0,16	0,35	4,88	1,03	0,00	8,14	2,22

Tabela H.3. Choque percentual realizado no CEN3.

TXCMA3	Rondonia	Amazon	ParaToc	MarPiaui	PernAlag	Bahia	RestNE	MinasG	RioJEspS	SaoPaulo	Parana	SCatRioS	MtGrSul	MtGrosso	Central
1 Arroz	2,90	2,70	3,19	3,00	0,04	0,45	0,06	1,27	0,46	0,20	3,22	0,60	1,77	5,72	1,37
2 Milho	2,90	11,15	3,20	2,70	0,01	0,45	0,06	1,27	0,24	0,20	3,22	0,61	1,77	5,72	1,27
3 TrigoCereais	0,00	0,00	0,00	3,73	0,03	0,45	0,07	1,27	0,40	0,20	3,22	0,59	1,77	5,72	1,35
4 CanaAcucar	2,90	13,23	3,19	2,22	0,00	0,45	0,03	1,27	0,44	0,20	3,22	0,62	1,77	5,72	1,38
5 Soja	2,90	0,00	3,19	2,09	0,00	0,45	0,08	1,27	0,00	0,20	3,22	0,59	1,77	5,72	1,35
6 OutrProduto	2,90	11,48	3,20	3,12	0,01	0,45	0,00	1,27	0,17	0,20	3,22	0,64	1,77	5,72	1,15
7 Mandioca	2,90	11,61	3,20	2,22	0,03	0,45	0,01	1,27	0,56	0,20	3,22	0,62	1,77	5,72	0,85
8 Fumo	0,00	12,44	0,00	0,00	0,00	0,45	0,05	1,27	0,00	0,00	3,22	0,62	0,00	0,00	0,00
9 Algodao	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,45	0,03	1,27	0,00	0,20	3,22	0,00	1,77	5,72	1,38
10 FrutaCitrica	2,90	11,52	3,20	3,03	0,04	0,45	0,06	1,27	0,48	0,20	3,22	0,60	1,77	5,72	1,19
11 Cafe	2,90	11,95	3,20	0,00	0,08	0,45	0,08	1,27	0,09	0,20	3,22	0,00	1,77	5,72	1,09
12 FlorSilvicul	2,90	12,72	3,20	0,00	0,06	0,45	0,00	1,27	0,10	0,20	3,22	0,62	0,00	5,72	1,38

Elaboração própria.

Apêndice I.

Tabela I.1. Principais resultados para as variáveis macroeconômicas regionais em CEN1.

Macro	Rondônia	Amazon	Para Toc	Mar Piaui	Pern Alag	Bahia	Rest NE	MinasG	RioJ EspS	São Paulo	Parana	SCat RioS	MtGr Sul	Mt Grosso	Central
Consumo das Famílias	0,14	0,26	0,26	0,10	0,06	0,04	0,09	0,20	0,02	0,04	0,09	0,05	0,17	0,39	0,11
Investimento	0,44	0,37	0,23	0,16	0,21	0,11	0,14	0,27	0,05	0,17	0,24	0,18	0,41	0,71	0,27
Gastos Governo	0,14	0,25	0,26	0,10	0,06	0,04	0,09	0,20	0,02	0,04	0,09	0,05	0,17	0,39	0,11
Volume de Exportação	0,38	0,05	-0,15	-0,13	0,65	-0,19	0,08	0,39	-0,25	0,21	0,64	0,41	0,05	1,54	-0,52
Volume Importação	0,27	0,07	0,22	0,17	0,20	0,08	0,17	0,14	0,11	0,10	0,12	0,09	0,21	0,20	0,20
PIB real	0,13	0,23	0,30	0,10	0,03	0,06	0,03	0,18	0,01	0,03	0,12	0,15	0,20	1,18	0,16
Emprego Real	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,01	0,05	-0,01
Salários Reais	0,26	0,32	0,32	0,22	0,16	0,14	0,17	0,27	0,12	0,13	0,18	0,15	0,27	0,44	0,21

Resultado do modelo.

Apêndice J.

Tabela J.1 Mudança na área irrigada por cultura e região–CEN 1 – (Diferença Acumulada, Mha).

Culturas	Rondonia	Amazon	ParaToc	MarPiaui	PernAlag	Bahia	RestNE	MinasG	Total
ArrozCasca	0,0013	0,0102	0,1273	0,0362	0,0001	0,0015	0,0002	0,0077	0,1845
MilhoGrao	0,0025	0,0046	0,0121	0,0094	0,0000	0,0068	0,0003	0,0467	0,0825
TrigoOutCere	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0049	0,0049
CanaDeAcucar	0,0000	0,0002	0,0121	0,0106	0,0002	0,0067	0,0013	0,1188	0,1501
SojaGrao	0,0002	0,0000	0,0264	0,0073	0,0000	0,0102	0,0000	0,0385	0,0825
OutPrServLav	0,0025	0,0205	0,0236	0,0154	0,0002	0,0241	0,0004	0,0491	0,1359
Mandioca	0,0027	0,0176	0,0110	0,0050	0,0001	0,0014	0,0000	0,0009	0,0385
FumoFolha	0,0000	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0001	0,0000	0,0000	0,0003
AlgodHerb	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0047	0,0000	0,0030	0,0077
FrutasCitric	0,0003	0,0034	0,0144	0,0003	0,0000	0,0005	0,0000	0,0061	0,0251
CafeGrao	0,0096	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0064	0,0000	0,0294	0,0457
ExplFlorSilv	0,0028	0,0906	0,0015	0,0000	0,0000	0,0041	0,0000	0,0156	0,1146
Total	0,0219	0,1476	0,2286	0,0841	0,0006	0,0666	0,0023	0,3208	

Resultado da simulação

Continua (...)

Culturas	RioJEspS	SaoPaulo	Parana	SCatRioS	MtGrSul	MtGrosso	Central	Total
ArrozCasca	0,0002	0,0004	0,0199	0,2475	0,0282	0,0322	0,0080	0,3364
MilhoGrao	0,0004	0,0053	0,0384	0,0014	0,0136	0,1465	0,0230	0,2284
TrigoOutCere	0,0000	0,0001	0,0047	0,0004	0,0003	0,0004	0,0006	0,0065
CanaDeAcucar	0,0099	0,0429	0,0601	0,0000	0,0923	0,0651	0,1289	0,3993
SojaGrao	0,0000	0,0015	0,0437	0,0233	0,0186	0,2345	0,0381	0,3597
OutPrServLav	0,0018	0,0064	0,0145	0,0137	0,0010	0,0279	0,0411	0,1063
Mandioca	0,0003	0,0001	0,0047	0,0000	0,0005	0,0040	0,0004	0,0101
FumoFolha	0,0000	0,0000	0,0007	0,0007	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014
AlgodHerb	0,0000	0,0010	0,0012	0,0000	0,0002	0,0955	0,0036	0,1015
FrutasCitric	0,0001	0,0112	0,0008	0,0001	0,0002	0,0033	0,0043	0,0199
CafeGrao	0,0042	0,0014	0,0071	0,0000	0,0001	0,0003	0,0030	0,0162
ExplFlorSilv	0,0001	0,0005	0,0013	0,0014	0,0000	0,0026	0,0041	0,0100
Total	0,0172	0,0708	0,1970	0,2884	0,1550	0,6124	0,2549	

Resultado da simulação