



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA E AMBIENTE
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA E AMBIENTE (CIEnAm)
DOUTORADO EM ENERGIA E AMBIENTE

CÁSSIA JULIANA FERNANDES TORRES

**BASES METODOLÓGICAS PARA A INSERÇÃO DO
CONCEITO NEXUS ÁGUA – ENERGIA – AGRICULTURA
EM MODELOS INTERSETORIAIS DE PLANEJAMENTO E
GESTÃO**

Salvador
2020

CÁSSIA JULIANA FERNANDES TORRES

**BASES METODOLÓGICAS PARA A INSERÇÃO DO
CONCEITO NEXUS ÁGUA – ENERGIA – AGRICULTURA
EM MODELOS INTERSETORIAIS DE PLANEJAMENTO E
GESTÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente, programa do Centro Integrado em Energia e Ambiente, da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor.

Orientadores: Prof^o. Dr. Daniel Veras Ribeiro
Prof^o. Dra. Yvonilde Dantas Pinto
Medeiros

Salvador
2020

T693

Torres, Cássia Juliana Fernandes.

Bases metodológicas para a inserção do conceito nexus água – energia - agricultura em modelos intersetoriais de planejamento e gestão / Cássia Juliana Fernandes Torres. – Salvador, 2020.

289f. : il. color.

Orientadores: Prof. Dr. Daniel Veras Ribeiro;
Profa. Dra. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros.

Tese (doutorado) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2020.


1. Nexus – conceito. 2. Políticas públicas. 3. Recursos hídricos. 4. Política energética. 5. Política agrícola. 6. Desenvolvimento sustentável. 7. Planejamento integrado. I. Ribeiro, Daniel Veras. II. Medeiros, Yvonilde Dantas Pinto. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

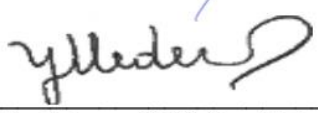
CDD.: 658

CÁSSIA JULIANA FERNANDES TORRES

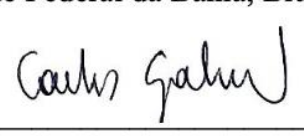
**BASES METODOLÓGICAS PARA A INSERÇÃO DO CONCEITO
NEXUS ÁGUA – ENERGIA – AGRICULTURA EM MODELOS
INTERSETORIAIS DE PLANEJAMENTO E GESTÃO**

Tese aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Energia e Ambiente, Universidade Federal da Bahia, pela seguinte banca examinadora:

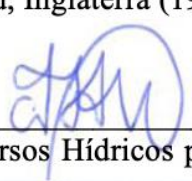
Prof. Dr. Daniel Veras Ribeiro 
Doutor em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de São Carlos
Brasil (2010) - Orientador.

Prof.a Dra. Yvonilde Dantas Pinto Medeiros 
Doutora em Hidrologia pela Newcastle University, Inglaterra (1994) – Orientadora.

Prof. Dr. Marcelo Santana Silva 
Doutor em Energia e Ambiente pela Universidade Federal da Bahia, Brasil (2015).

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão 
Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Brasil (1999).

Prof. Dr. Edmilson Costa Teixeira 
Doutor em Engenharia Civil pela University of Bradford, Inglaterra (1993).

Prof. Dr. Ícaro Thiago Andrade Moreira 
Doutor em Geologia Ambiental, Hidrogeologia e Recursos Hídricos pela Universidade
Federal da Bahia, Brasil (2014).

Prof.a Dra. Andrea Sousa Fontes 
Doutora em Geofísica pela Universidade Federal da Bahia, Brasil (2008).

Salvador, 14 de abril de 2020.

À Deus.
Aos meus pais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, fonte de todas as minhas conquistas e meu grande mentor em todas as minhas tomadas de decisão. Meus pais, Cacio Torres de Lima e Margareth Fernandes Cangussu Torres, que sempre me apoiaram em todas as decisões em minha vida, foram fundamentais em cada conquista alcançada, sempre me passando paciência, amor e carinho. Vocês são, sem dúvida, as duas pessoas nessa vida que mais merecem minha dedicação e agradecimento. Amor incondicional por vocês. Minha prima Érica Fernandes Santos, que sempre distante está presente em tudo em minha vida, não seria diferente agora. Agradeço o carinho, torcida, e por sempre me dar ânimo quando eu me sentia triste. Minha confidente, parceira para toda a vida.

A minha orientadora, Yvonilde D. Medeiros, pela oportunidade, por me ajudar, incentivar e acreditar em meu trabalho. Tudo que conquistei nessa área foi devido a seu incentivo e auxílio. Agradeço muito por sempre estar presente, tanto nos momentos de desenvolver ciência quanto nos momentos afetivos, muito compreensiva e amiga. Ao meu orientador, Daniel Veras Ribeiro, por ter aceitado me orientar e ter sempre me passado muita tranquilidade e força. Sempre com uma correção criteriosa nos artigos que me ajudou muito. Imensa gratidão por todo apoio. À Prof. Andrea Fontes por estar sempre presente em todo processo de desenvolvimento deste estudo, muito paciente e parceira. Ao Prof. Terêncio Rebello de Aguiar Junior por todo apoio e orientação na estruturação de artigos, consequentemente, no desenvolvimento da própria tese. Dedico a você também esse trabalho, desenvolvemos todos juntos. Muita gratidão.

Ao Prof. Edimilson Teixeira por ter indicado o tema da pesquisa no início do doutoramento, pela sua contribuição na minha qualificação, o meu muito obrigada por tudo. Ao Prof. Marcelo Santana pela sua grande contribuição na minha banca de qualificação. As orientações de vocês dois foram fundamentais na tomada de decisão sobre o direcionamento da pesquisa. Aos professores Carlos Galvão e Ícaro Moreira por toda contribuição, auxiliando fortemente no melhoramento da pesquisa. Ao Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GRH/UFBA), o qual faço parte. Todos presentes tiveram uma participação no desenvolvimento do meu trabalho. Agradeço também minhas grandes amigas Adriana Machado, Geane Almeida, Taís Lopes e Katia Santana por todo apoio emocional e técnico, vocês sempre foram 1000!

À Bárbara S. Goodwin, que me acompanhou durante todo desenvolvimento da tese, me ajudou muito no levantamento, tratamento e tabulação dos dados da pesquisa. Cada artigo publicado, artigo em construção e a tese como um todo, tem uma participação sua. Imensamente satisfeita com seu trabalho e parceria, muito obrigada. À minha amiga, Camilla Hellen P. de Lima, pela companhia, carinho e dedicação a nossa amizade, além de todas as nossas conversas e reuniões para desenvolver o artigo da *Sustainability*. Você foi uma orientadora, amiga, e extraordinária parceira. Pessoa iluminada por Deus, meus eternos agradecimentos. À meu colega de pesquisa e amigo, Rodrigo Saldanha, não imaginava uma amizade tão colaborativa como a nossa. Desde que chegou no GRH me apoia em tudo e me ajuda sempre que preciso. Você foi essencial, muito obrigada por tudo.

Ao meu companheiro, Paulo Victor Portela, agradeço por todas as mentorias, incentivos, pelos momentos de descontração, apoio emocional, carinho e muito amor. Você foi fundamental para essa conquista.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudo que me proporcionou condições de realização desta pesquisa.

RESUMO

A gestão integrada entre múltiplos setores, conhecida popularmente como “*Water-Energy-Food (WEF) nexus*” refere-se a uma estrutura conceitual que propõe uma gestão interligada e interdependente entre os setores de água, energia e alimento/agricultura, a partir da boa governança desses sistemas para concepção de políticas e ações mais eficientes e sustentáveis. Existe um crescente interesse na literatura envolvendo esse tema, especialmente, a partir do ano de 2012. Isso tem ocorrido pelo reconhecimento cada vez maior que os setores que compartilham recursos naturais possuem sistemas interdependentes e interconectados. A compreensão dessas inter-relações complexas permite lidar melhor com as incertezas inerentes em modelos de gestão e planejamento dos recursos naturais, fortalecendo seus pontos fortes e minimizando seus pontos fracos. Apesar da grande popularidade desse conceito e suas vantagens associadas, ainda não foram definidos procedimentos e metodologias suficientemente capazes de organizar suas variáveis de composição e auxiliar seu desenvolvimento de forma sistematizada e padronizada. Diante disso, o presente estudo tem por objetivo propor estruturas conceituais, procedimentos e metodologias para auxiliar na inserção do conceito nexus Água – Energia – Agricultura em modelos intersetoriais de planejamento e gestão dos recursos naturais. Neste sentido, foi realizada uma extensa revisão bibliográfica (meta-análise) sobre o tema em questão para definir um procedimento sistemático que padronize e ordene o desenvolvimento do conceito nexus. Esse procedimento é central na pesquisa, onde, a partir dele, são propostas novas estruturas e metodologias para atender etapas específicas. Essas etapas incluem: (1) elaboração de uma estrutura conceitual para representar as inter-relações entre diferentes temas de composição do conceito nexus; (2) elaboração de uma metodologia direcionada para identificação, análise e seleção de bases de dados multissetoriais; (3) mapeamento das inter-relações entre elementos nexus (variáveis físicas e sociais) no contexto brasileiro; e (4) definição de uma metodologia para classificação do nível de integração entre políticas públicas mediante o conceito nexus. Com os resultados alcançados, foi possível: (1) identificar 25 temas associados ao conceito nexus e uma grande quantidade de variáveis de interligação entre todos eles; (2) identificar e analisar 20 bases de dados multissetoriais de âmbito Federal; e (3) compreender os principais *interlinks* existentes entre os segmentos de água, energia e agricultura irrigada no Brasil, tanto em termos físicos, quanto em termos sociais. A avaliação física levou em consideração os fluxos de água e energia no setor energético (termelétrica, refinaria de petróleo e hidrelétrica), no setor de saneamento (concessionárias de água e esgoto), e no setor agrícola. Essas tipologias energéticas foram selecionadas considerando maior participação na matriz do país e maior demanda de água. Em termos sociais, foram analisadas as principais políticas públicas Federais referentes aos setores em questão (10 legislações e 23 programas governamentais). As legislações analisadas apresentaram uma baixa inter-relação com os critérios abordados no conceito nexus. A partir dos resultados mencionados, pode-se inferir que para operacionalizar o conceito nexus nos modelos de gestão e planejamento dos recursos naturais no contexto brasileiro são necessárias reestruturação dos arranjos institucionais e adequações de algumas políticas públicas referentes aos setores de recursos hídricos, energia e agricultura, especialmente, as legislações regulatórias. No contexto geral, essa operacionalização tende a ocorrer de médio a longo prazo de forma distinta e temporalmente desigual nas diversas regiões do mundo, seguindo uma lógica de prioridades (econômica, ambiental e política) impostas por pressões das mudanças climáticas e maior incidência de períodos de escassez.

Palavras – chave: Nexus água-energia-agricultura. Estrutura conceitual. Bases de dados. Políticas públicas setoriais. Meta-análise.

ABSTRACT

Integrated management across multiple sectors, popularly known as “Water-Energy-Food (WEF) nexus” refers to a conceptual framework that proposes interconnected and interdependent management between the water, energy and food / agriculture sectors, based on good governance of these systems for designing more efficient and sustainable policies and actions. There is a growing interest in the literature on this topic, especially since 2012. This has been due to the growing recognition that sectors that share natural resources have interdependent and interconnected systems. Understanding these complex interrelationships makes it possible to better deal with the uncertainties inherent in natural resource management and planning models, strengthening their strengths and minimizing their weaknesses. Despite the great popularity of this concept and its associated advantages, procedures and methodologies sufficiently capable of organizing its composition variables and assisting its development in a systematic and standardized manner have not yet been defined. In view of this, the present study aims to propose conceptual structures, procedures and methodologies to assist in the insertion of the nexus concept Water - Energy - Agriculture in intersectoral models of planning and management of natural resources. In this sense, an extensive bibliographic review (meta-analysis) was carried out on the subject in question to define a systematic procedure that standardizes and orders the development of the nexus concept. This procedure is central to the research, where, from it, new structures and methodologies are proposed to meet specific steps. These steps include: (1) elaboration of a conceptual structure to represent the interrelationships between different themes of composition of the nexus concept; (2) development of a methodology aimed at identifying, analyzing and selecting multisectoral databases; (3) mapping the interrelationships between nexus elements (physical and social variables) in the Brazilian context; and (4) definition of a methodology for classifying the level of integration between public policies using the nexus concept. With the results achieved, it was possible to: (1) identify 25 themes associated with the nexus concept and a large number of interconnection variables between them all; (2) identify and analyze 20 multi-sectoral databases at the Federal level; and (3) understand the main interlinks between the water, energy and irrigated agriculture segments in Brazil, both in physical and social terms. The physical assessment took into account the water and energy flows in the energy sector (thermoelectric, oil refinery and hydroelectric), in the sanitation sector (water and sewage utilities), and in the agricultural sector. These energy types were selected considering greater participation in the country's matrix and greater demand for water. In social terms, the main Federal public policies regarding the sectors in question were analyzed (10 legislations and 23 government programs). The analyzed laws presented a low interrelation with the criteria addressed in the nexus concept. From the results mentioned, it can be inferred that in order to operationalize the nexus concept in the models of management and planning of natural resources in the Brazilian context, restructuring of institutional arrangements and adjustments of some public policies related to the water resources, energy and agriculture sectors are necessary, especially regulatory laws. In the general context, this operationalization tends to occur in the medium to long term in a distinct and temporally unequal way in the different regions of the world, following a logic of priorities (economic, environmental and political) imposed by the pressures of climate change and a higher incidence of periods of scarcity.

Keywords: Water – Energy - Agriculture nexus. Conceptual framework. Data base. Sectorial public policies. Meta-analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma das principais relações entre Água – Energia – Agricultura	33
Figura 2: Inter-relações entre Água - Energia.....	34
Figura 3: Classificação dos tipos de Processos de Resfriamento.....	36
Figura 4: Exemplos de sistemas de resfriamento.....	38
Figura 5: Retiradas de água no setor de energia no ano de 2014.....	42
Figura 6: Uso de energia para vários processos no setor de água.....	43
Figura 7: Processos do setor de saneamento.....	45
Figura 8: Relação entre Energia - Agricultura	51
Figura 9: Relações entre preço dos alimentos com o preço da energia.....	53
Figura 10: Índices dos preços dos alimentos e do petróleo bruto (%)	53
Figura 11: Impactos da agricultura irrigada no ecossistema.....	55
Figura 12: Tendências de cobertura de saneamento (%) por regiões no período de 1990–2012.....	62
Figura 13: Acesso a melhores serviços de saneamento em áreas urbanas e rurais, por país (2015).....	63
Figura 14: Proporção da população que utiliza saneamento melhorado em 2012	64
Figura 15: Interferências da falta de saneamento no contexto social, ambiental e comercial	64
Figura 16: Exemplo de emissões de gases em uma ETE com digestão anaeróbia	66
Figura 17: Fluxograma de composição das etapas gerais da metodologia	68
Figura 18: Etapas metodológicas da Parte I do estudo	70
Figura 19: Sistema de apoio à decisão para análise e seleção de bases de dados (Etapas Parte III).....	75
Figura 20: Etapas metodológicas da Parte III – B.....	82
Figura 21: Resultados encontrados quanto ao ano de publicação dos artigos	87
Figura 22: Estrutura conceitual para representar as inter-relações entre diferentes temas de composição do conceito nexus.....	95
Figura 23: Resultados: (a) número de artigos classificados por escala geográfica; (b) escala geográfica distribuídos por ano de publicação.....	99
Figura 24: Resultados: (a) número de artigos classificados quanto ao critério tipo de elementos; (b) elementos nexus distribuídos por ano de publicação.	102
Figura 25: Resultados: (a) número de artigos classificados por contexto; (b) contextos distribuídos por ano de publicação.....	103
Figura 26: Mapa mental das principais variáveis e informações que envolvem o conceito nexus.....	113
Figura 27: Diagramação do procedimento sistemático de representação do conceito nexus	118
Figura 28: Organograma dos setores de Água – Energia – Agricultura	121
Figura 29: Base de dados nacionais dos setores de Água – Energia – Agricultura	122
Figura 30: Estruturação e auxílio na seleção das bases de dados (Exemplo de aplicação).....	129
Figura 31: Regiões hidrográficas brasileiras (Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	130
Figura 32: Distribuição dos postos de monitoramento fluviométricos e pluviométricos no Brasil (ano base <i>shapefile</i> 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000).....	132
Figura 33: Localização dos principais reservatórios nas bacias hidrográficas de gestão da ANA (ano base <i>shapefile</i> 2015-2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000).....	134
Figura 34: Diferença percentual das vazões médias ocorridas em 2018.....	135
Figura 35: Distribuição das vazões no período de 2000 – 2019 para os postos fluviométricos localizados em quatro regiões hidrográficas.....	135
Figura 36: Unidades hidrogeológicas do Brasil (ano base <i>shapefile</i> 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000).....	137

Figura 37: Relação da retirada, consumo e retorno nas regiões hidrográficas do Brasil (1955 – 2016)	139
Figura 38: Rede de monitoramento Estadual de qualidade da água (ano base <i>shapefile</i> 2014, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	143
Figura 39: Principais Usinas de energia em operação distribuídas no Brasil e oferta interna de energia 2018/2017 (ano base <i>shapefile</i> 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	145
Figura 40: Reserva, produção e número de poços produtores de petróleo no Brasil	145
Figura 41: Distribuição da produção de etanol e biodiesel no Brasil (ano base <i>shapefile</i> 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	147
Figura 42: Geração de energia elétrica nos Subsistemas por fonte geradora	148
Figura 43: Energia termelétrica e UHE distribuídas no Brasil (ano base <i>shapefile</i> 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	149
Figura 44: Energia eólica e solar distribuídas no Brasil (ano base <i>shapefile</i> 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	149
Figura 45: Consumo de energia por categoria do processo produtivo e por consumo final em cada setor	150
Figura 46: Número maquinários existentes nos estabelecimentos agropecuários	152
Figura 47: Principais culturas, temporárias e permanentes, produzidas no Brasil	153
Figura 48: Produção de bovinos no Brasil e número de cabeças por tipo de animal nas regiões brasileiras (ano base <i>shapefile</i> 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	154
Figura 49: Pegada hídrica de algumas tipologias de energia	154
Figura 50: Porcentagem da participação dos combustíveis utilizados nas UTEs presentes no Brasil	157
Figura 51: Localização das principais UTEs movidas à gás natural e localização de sua infraestrutura para transporte do gás (ano base <i>shapefile</i> 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	159
Figura 52: Demanda específica de água (m ³ /MWh) em usinas termelétricas	160
Figura 53: Vazão de retirada para resfriamento das termelétricas	160
Figura 54: Localização das UTE em operação no Brasil com destaque para as áreas secas e de estiagem do país (ano base <i>shapefile</i> 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	162
Figura 55: Fluxograma representativo das principais variáveis e alguns fluxos de água e energia que compõe uma usina termelétrica	164
Figura 56: Fluxograma representativo das principais variáveis e alguns fluxos de água e energia que compõe uma refinaria de petróleo	168
Figura 57: Localização das refinarias de petróleo do Brasil por situação hídrica	172
Figura 58: Balanço hídrico total da REPLAN considerando somente as entradas e saídas globais da Refinaria REPLAN	173
Figura 59: Taxa de evaporação das regiões do Brasil (2010 – 2016)	178
Figura 60: Consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água das concessionárias brasileiras	179
Figura 61: Evolução do consumo específico de energia na produção de água por Estado brasileiro	181
Figura 62: Consumo de energia nos sistemas de esgotamento sanitário das concessionárias brasileiras	182
Figura 63: Despesas com energia elétrica nos sistemas de água e esgoto no Brasil	183
Figura 64: Processos de tratamento mais utilizados por número de ETE e por população atendida	184
Figura 65: Índice de perdas na distribuição das concessionárias	186
Figura 66: Métodos de irrigação distribuídos por região geográfica e por regiões hidrográficas	188

Figura 67: Outorgas de irrigação distribuídas nas regiões hidrográficas do Brasil (ano base <i>shapefile</i> 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	189
Figura 68: Mapeamento da Agricultura Irrigada do Brasil por Pivôs Centrais (ano base <i>shapefile</i> 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)	190
Figura 69: Resumo da classificação dos principais planos e programas governamentais	214

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Conceitos nexus abordados por diferentes autores	28
Tabela 2: Impactos gerais nos ecossistemas promovidos por diferentes fontes de energia	58
Tabela 3: Conexões entre o setor energético, disponibilidade hídrica e qualidade da água	61
Tabela 4: Critérios de classificação dos artigos	72
Tabela 5: Critérios de classificação das bases de dados	76
Tabela 6: Etapas metodológicas para desenvolvimento da Parte III - A	79
Tabela 7: Critérios de análise considerando os segmentos de água, energia e agricultura	84
Tabela 8: Escala de pesos	85
Tabela 9: Escala de classificação	86
Tabela 10: Lista dos principais temas associados à abordagem nexus relatados em estudos de diferentes autores	89
Tabela 11: Classificação dos temas (Tabela 10) quanto à sua participação no conceito nexus.....	96
Tabela 12: Associações direta e indireta entre temas abordados no conceito nexus	97
Tabela 13: Identificação dos arranjos entre diferentes elementos nexus	100
Tabela 14: Principais métodos e ferramentas identificados na literatura.....	105
Tabela 15: Exemplos de alguns métodos e modelos capazes de avaliar as inter-relações entre elementos nexus	107
Tabela 16: Padronização das etapas de composição do procedimento sistemático para desenvolvimento do conceito de nexus.....	114
Tabela 17: Matriz de classificação das bases de dados levantadas na Figura 29.....	127
Tabela 18: Demandas de água das regiões hidrográficas brasileiras	139
Tabela 19: Minuta da matriz de coeficientes técnicos de recursos hídricos para o setor industrial brasileiro.	142
Tabela 20: Usos da água e suas perdas para algumas termelétricas instaladas nas regiões geográficas do Brasil.....	156
Tabela 21: Características das refinarias de petróleo presentes no Brasil.....	170
Tabela 22: Composição dos principais efluentes gerados nas unidades de processamento de refinarias de petróleo.....	175
Tabela 23: Evaporação líquida e pegada hídrica de algumas hidrelétricas instaladas no Brasil.....	177
Tabela 24: Consumo de energia para algumas etapas presentes em sistemas de água e esgoto	185
Tabela 25: Caracterização dos métodos de irrigação.....	187
Tabela 26: Consumo de água, consumo de energia e coeficiente de cultura para algumas culturas ..	191
Tabela 27: Energia direta e indireta consumida para algumas culturas no Brasil.....	193
Tabela 28: Síntese dos principais parâmetros e variáveis de interesse para análise de algumas interações nexus	196
Tabela 29: Síntese dos planos e programas governamentais dos setores de água-energia-agricultura	211
Tabela 30: Principais legislações de âmbito Federal presente nos setores de água, energia e agricultura.	215
Tabela 31: Matriz de classificação das políticas setoriais referente aos critérios definidos mediante o conceito nexus.....	218
Tabela 32: Principais pontos fortes e pontos fracos das políticas setoriais quanto ao contexto nexus	220

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplos de eventos relacionados ao tema nexus ocorridos no período de 2011 – 2018...	30
Quadro 2: Consumo de água para diferentes fontes de energia	35
Quadro 3: Taxas de retirada e consumo de água por tipos comuns de usinas térmicas e sistemas de resfriamento	38
Quadro 4: Consumo de água para produção de Biocombustíveis e petróleo.....	40
Quadro 5: Média anual da pegada hídrica de um animal, por categoria (1996-2005).....	47
Quadro 6: A pegada hídrica de alguns produtos alimentares selecionados de origem vegetal e animal	47
Quadro 7: Valores equivalentes de energia para diferentes entradas da produção agrícola	52
Quadro 8: Composição dos principais fertilizantes utilizados na agricultura.....	57
Quadro 9: Contribuições per capita e concentrações de nitrogênio, fósforo e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) em esgoto doméstico bruto.....	65
Quadro 10: Síntese das relações entre objetivos específicos e etapas desenvolvidas na metodologia .	86
Quadro 11: Caracterização das regiões hidrográficas brasileiras.....	131
Quadro 12: Relação entre população e recursos hídricos nas regiões geográficas do Brasil.....	133
Quadro 13: Número de poços cadastrados no SIAGAS e volume anual explorado	136
Quadro 14: Relação das vazões de retirada, consumo e retorno de água referentes às diferentes demandas	138
Quadro 15: Características das regiões hidrográficas mediante as atividades econômicas, carga orgânica e esgotamento sanitário.	140
Quadro 16: Produção agropecuária para atividades selecionadas (1990 e 2013) – Porcentagem relativa à produção em toneladas.....	153
Quadro 17: Características das termelétricas em função do tipo de combustível	158
Quadro 18: Resumo de algumas características relacionadas aos sistemas de resfriamento	161
Quadro 19: Companhias Estaduais de saneamento básico do Brasil.....	180
Quadro 20: Relação da porcentagem de coleta e tratamento dos esgotos no Brasil por região geográfica.....	182

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise de Ciclo de Vida
AGESPISA	Águas e Esgotos do Piauí
AGROBASE	Base Bibliográfica da Agricultura Brasileira
AHP	Analytic Hierarchy Process
AIE	Agência Internacional de Energia
ANA	Agência Nacional das Águas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ATER	Assistência Técnica Rural
BDPA	Bases de Dados da Pesquisa Agropecuária
BEN	Balanço Energético Nacional
BHSF	Bacia Hidrográfica do rio São Francisco
BIG	Banco de Informações de Geração
CAEMA	Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão
CAER	Companhia de Águas e Esgoto de Roraima
CAERD	Companhia de Saneamento de Rondônia
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CAESA	Companhia de Água e Esgoto do Amapá
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CAGEPA	Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CBHs	Comitês de Bacia Hidrográfica
CBHSF	Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CEPAL	Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CESAN	Companhia Espírito-Santense de Saneamento
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CGU	Controladoria Geral da União
CHESF	Companhia Hidrelétrica do São Francisco
CLEWS	Climate, Land, Energy, and Water systems approach
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CORSAN	Companhia de Saneamento do Rio Grande do Sul
COSAMA	Companhia de Saneamento do Amazonas
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DEAS	Departamento Estadual de Água e Saneamento
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe
DETER	Sistema de Detecção do <i>Desmatamento</i> em Tempo Real

EAR	Energia Armazenada
EEA	European Environmental Agency
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELECTRE	Elimination et Choix Traduisant la Réalité
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EPI	Environmental Performance Index
EPRI	Electric Power Research Institute
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
FAO	Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas da Agricultura e Alimentação)
FAOSTAT	Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FBB	Fundação Banco do Brasil
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FUNARBE	Fundação Arthur Bernardes
GEE	Gases de Efeito Estufa
GeoInfo	Infraestrutura de Dados Espaciais da Embrapa
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GNL	Gás Natural Liquefeito
GWP	Global Water Partnership
HII	Human Insecurity Index
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IEA	International Energy Agency
IEMA	Instituto de Energia e Meio Ambiente
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
iNDC	Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INSA	Instituto Nacional do Semiárido
INTERÁGUAS	Programa de Desenvolvimento do Setor Água
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ISC	Indicadores de Sistemas Sustentáveis
LEAP	Long-range Energy Alternatives Planning System
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MCid	Ministério das Cidades
MCs	Modelos Conceituais
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MDS	Ministério do Desenvolvimento Social
MI	Ministério da Integração Nacional
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MME	Ministério de Minas e Energia
MMs	Mapas Mentais
MODFLOW	Modular finite-difference groundwater flow
MuSIASEM	Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
NRDC	Natural Resources Defense Council
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
OECD	Organization for Economic Co-Operation and Development

OIEE	Oferta Interna de Energia Elétrica
ONG	Organização Não Governamental
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
OSeMOSYS	Open Source Energy Modeling System
PAD	Programa Água Doce
PAT	Programa Água Para Todos
PC	Programa Cisternas
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PGPAF	Programa de Garantia de Preços da Agricultura Familiar
PGPM	Programa de Garantia de Preço Mínimo
PIB	Produto Interno Bruto
PNAE	Programa Nacional de Alimentação Escolar
PNB	Política Nacional de Biossegurança
PNNL	Pacific National Laboratory National
PNPB	Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PRIMA	Platform for Regional Integrated Modeling and Analysis
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
PROÁGUA/ NACIONAL	Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos
PROÁGUA/ SEMIÁRIDO	Programa de Desenvolvimento de Recursos Hídricos para o Semiárido Brasileiro
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PRODES	Programa de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia
Proinfra	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
QGIS	Quantum Geographic Information System
RBTB	Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel
Rede Clima	Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SAA	Sistemas de Abastecimento de Água
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAD	Sistema de Apoio à Decisão
SANEAGO	Saneamento de Goiás
SANEATINS	Companhia de Saneamento do Tocantins
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SANESUL	Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul
SAR	Sistema de Acompanhamento de Reservatórios
SAW	Simple Additive Weighting
SEAF	Seguro da Agricultura Familiar
SEI	Stockholm Environment Institute
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SEWEM	System-Wide Economic-Water-Energy Model
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGEL	Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico
SIGSAB	Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido brasileiro
SIN	Sistema Interligado Nacional
SINDAT	Sistema Interligado Nacional do Operador Nacional do Sistema Elétrico
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SISAN	Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional

SISPPI	Sistema de Informações sobre os Projetos Públicos de Irrigação
SNCR	Sistema Nacional de Crédito Rural
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPD	Sistema Plantio Direto
SPW	Simple Product Weighting
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
UFV	Usina Fotovoltaica
UHE	Usina Hidrelétrica
UNICA	União das Indústrias de cana-de-açúcar
UPGN	Unidade de Processamento de Gás Natural
UPV	Universitat Politècnica de València
US DOE	United States Department of Energy
UTE	Usina Termoelétrica
WaCCliM	Water and Wastewater Companies for Climate Mitigation
WaterStat	Water footprint statistics
WEAP	Water Evaluation and Planning system
WEF	World Economic Forum
WEF Nexus	Water, Energy and Food Nexus
WHO	World Health Organization
WRG	Water Resources Group
ZARC	Zoneamento Agrícola de Risco Climático

SUMÁRIO

Capítulo 1	INTRODUÇÃO	--
1.1	Justificativa e Motivação	23
1.2	Objetivos	26
1.3	Organização do Trabalho	27
Capítulo 2	NEXUS ÁGUA – ENERGIA - AGRICULTURA	28
2.1	Inter-relações entre elementos nexus	32
2.1.1	Água – Energia	33
2.1.1.1	Consumo de energia no contexto do saneamento	42
2.1.2	Água – Agricultura	46
2.1.3	Energia – Agricultura	51
2.2	Impactos dos segmentos de agricultura, energia e água nos ecossistemas	54
2.2.1	Agricultura	54
2.2.2	Energia	58
2.2.3	Água (Saneamento)	61
Capítulo 3	MATERIAIS E MÉTODOS	67
3.1	Revisão de literatura para proposição de um procedimento sistemático de desenvolvimento do “conceito nexus” (Parte I)	69
3.1.1	Identificação e seleção dos artigos (Etapas 1, 2 e 3)	70
3.1.2	Análise dos Artigos - Critérios de Classificação (Etapa 4)	71
3.1.3	Elaboração do procedimento sistemático de representação do “conceito nexus” (Etapa 5)	73
3.2	Proposição de um procedimento metodológico para identificação, análise e seleção de bases de dados multissetoriais (Parte II)	74
3.2.1	Estudo de caso: Análise das bases de dados presentes no Brasil	77
3.3	Identificação e análise das inter-relações entre elementos nexus (Parte III)	78
3.3.1	Identificação das inter-relações entre elementos nexus em escala nacional (Parte III - A)	78
3.3.2	Proposição de um procedimento metodológico para classificação do nível de integração entre conceito nexus e políticas setoriais (Parte III - B)	81
3.3.2.1	Identificação e caracterização das políticas setoriais (Etapa 1)	82
3.3.2.2	Seleção das variáveis e critérios (Etapa 2)	83
3.3.2.3	Análise das inter-relações entre critérios e variáveis (Etapa 3)	85
3.3.2.4	Classificação (Etapa 4)	86
Capítulo 4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	87
4.1	Revisão de literatura para proposição de um procedimento sistemático para desenvolvimento do “conceito nexus” (Parte I)	87
4.1.1	Resultados da análise dos artigos (Critérios)	87

4.1.1.1	Conceito nexus	87
4.1.1.2	Tipo de abordagem	98
4.1.1.3	Escala geográfica	98
4.1.1.4	Elementos nexus	99
4.1.1.5	Contexto de aplicação	102
4.1.1.6	Tipo de método e ferramentas de avaliação	104
4.1.2	Procedimento sistemático de representação do “conceito nexus”	112
4.1.3	Síntese das informações necessárias para desenvolvimento do procedimento proposto	118
4.2	Procedimento metodológico para identificação, análise e seleção de bases de dados multissetoriais (Parte II)	120
4.3	Mapeamento das inter-relações entre elementos nexus no Brasil (Parte III - A)	130
4.3.1	Caracterização dos setores de Água – Energia – Agricultura irrigada no contexto brasileiro	130
4.3.1.1	Água	130
4.3.1.2	Energia	144
4.3.1.3	Agricultura	151
4.3.2	Inter-relações e interdependências entre Água – Energia – Agricultura irrigada no Brasil	154
4.3.2.1	Água para energia	154
4.3.2.1.1	Termelétrica (UTE)	155
4.3.2.1.2	Combustíveis Fósseis (Refinarias de petróleo)	165
4.3.2.1.3	Usinas Hidrelétricas (UHE)	175
4.3.2.2	Energia para água (Concessionárias de água e esgoto)	179
4.3.2.3	Água e energia no setor de agricultura irrigada	186
4.3.3	Discussão	196
4.4	Procedimento metodológico para classificação do nível de integração entre conceito nexus e políticas setoriais (Parte III - B)	203
4.4.1	Caracterização das principais políticas setoriais presentes no Brasil referentes aos setores de Água - Energia - Agricultura	203
4.4.1.1	Política Agrícola	203
4.4.1.2	Política energética	206
4.4.1.3	Política de recursos hídricos	209
4.4.2	Aplicação da metodologia de classificação das legislações setoriais	216
4.4.2.1	Discussão	222
Capítulo 5	CONCLUSÕES	225
5.1	Desafios e perspectivas para trabalhos futuros	231
	REFERÊNCIAS	233
Apêndice A	Exemplos de publicações “nexus” utilizando diferentes associações entre temas multidisciplinares	279
Apêndice B	Artigos publicados em revista	282
Apêndice C	Artigos publicados em Congressos	284
Apêndice D	Outras contribuições	289

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Crises generalizadas nos setores de água, energia e alimentos comprometem diversas regiões do mundo, agravando as relações entre a disponibilidade e a demanda por esses recursos. Escassez de água, declínio e instabilidade nos suprimentos de alimentos, incertezas energéticas e degradação dos ecossistemas são problemas comuns que muitos países vêm compartilhando ao longo do tempo. As projeções para 2050 indicam um crescimento populacional mundial de 7,78 bilhões de pessoas (WORLDOMETER, 2020) para aproximadamente 9,8 bilhões de pessoas (UNITED NATIONS, 2017). As mesmas projeções apontam perdas na produção agrícola variando entre 9 a 21%, devido as interferências climáticas (MOUNTFORD, 2011) e aumento na demanda de água em 55% (LI *et al.*, 2019). Além dos problemas mencionados, intensificam-se crises e conflitos entre diferentes setores correlacionados em vários locais, principalmente na Ásia, África e América Latina (ANDREWS-SPEED *et al.*, 2012).

As interdependências existentes entre os múltiplos setores que sustentam a economia global possuem relações em cadeia que envolve cinco aspectos relevantes: (1) os elementos água, energia e agricultura estão interligados; (2) todos os demais setores da economia possuem uma relação com pelo menos um dos três elementos citados; (3) alterações em qualquer um desses elementos provocam intervenções em cascata nos segmentos correlacionados a eles; (4) impactos negativos gerados pelo consumo desses elementos são repassados para a sociedade; e (5) as interdependências entre eles tem se mostrado cada vez mais nítidas na conjuntura de escassez dos recursos (HOFF, 2011; WEF - WORLD ECONOMIC FORUM, 2011; HANLON *et al.*, 2013; RINGLER *et al.* 2013; AL-SAIDI & ELAGIB 2017).

Apesar do reconhecimento de que os sistemas de água, energia e agricultura funcionam de forma interconectada, grande parte dos setores que os representam foi estruturada culturalmente de forma fragmentada. Com isso, os arranjos institucionais e regulamentações setoriais têm sido tradicionalmente organizados de formas independentes, o que direciona cada setor a desenvolver suas próprias estratégias, políticas, planejamentos e ações (EFTELIOGLU *et al.*, 2016; VANHAM, 2016; EMBID & MARTÍN, 2018; HUCKLEBERRY & POTTS, 2019), não atribuindo a relevância necessária para integração entre as políticas públicas governamentais.

Por exemplo, os governos geralmente elaboram políticas agrícolas e programas de subsídios, como os de fertilizantes, sem considerar a complexidade das ligações com energia e água na cadeia produtiva (BHADURI *et al.*, 2015). Da mesma forma, em vários países, os subsídios de energia são fornecidos à agricultura sem considerar suas implicações para o esgotamento dos recursos naturais e a degradação de águas superficiais e subterrâneas (BHADURI *et al.*, 2015). Somente nos últimos anos vem sendo desenvolvida uma crescente preocupação tanto pela pegada hídrica e energética dos produtos alimentícios quanto pelas ineficiências nas cadeias de produção agrícola (MAYOR *et al.*, 2015).

A adoção de planos e ações independentes tem sido direcionada para solucionar problemas apenas de um único setor. Ao longo da história, a falta de integração e sinergia entre os setores econômicos, associados ao modelo político adotado, tem apontado para várias falhas na redução de crises no sistema global (De STRASSER *et al.*, 2016). Tem se tornado cada vez mais nítido que ações tomadas por governos, empresas ou comunidades que afetam um determinado setor, transferem suas consequências para outros segmentos, podendo impactar o mesmo local onde se iniciou o processo ou outras áreas que estejam correlacionadas a ele (ANDREWS-SPEED *et al.*, 2012; AL-SAIDI & ELAGIB, 2017).

Logo, a falta de integração, que historicamente foi implantada nesses ambientes, passou a ser confrontada com a necessidade de compartilhar decisões para responder aos problemas multidisciplinares, com a compreensão de que a falta de conhecimento das interligações e interdependências entre os múltiplos setores que compartilham recursos naturais tende a resultar no mau uso e administração desses recursos (SCOTT *et al.*, 2011).

A maior visibilidade atribuída ao reconhecimento dessas inter-relações ocorreu originalmente no *World Economic Forum* (WEF), no ano de 2008 (SMAJGL *et al.*, 2016; EMBID & MARTIN, 2017). Seu conceito foi definido como interdependências e interconexões entre água, energia e alimentos, em particular, envolvendo cenários de crises generalizadas e incertezas climáticas (BACH *et al.*, 2012). Apesar da relevância atribuída a esse tema no WEF, somente em 2011 na conferência “*The Water Energy and Food Security Nexus – Solutions for the Green Economy*” foi consolidada a linha de “pensamento nexus” (WEF, 2011; BENSON *et al.*, 2015; BIGGS *et al.*, 2015).

As principais razões por trás da consolidação e da crescente visibilidade desse tema estão associadas ao período atual de completa insegurança no fornecimento de água, energia e alimento. Outros fatores que contribuíram foram os efeitos das mudanças climáticas (como secas e ondas de calor), aumento das demandas por recursos naturais (LEESE & MEISC, 2015; AL-SAIDI & ELAGIB, 2017) e falhas nas estratégias de gestão e governança (AL-SAIDI & ELAGIB, 2017).

O cenário de insegurança, se por um lado, desencadeou crises e riscos generalizados no âmbito social, econômico e ambiental, por outro lado, se tornou oportuno para gerar discussões pautadas na busca de ideias/propostas pragmáticas, sólidas e eficazes que atendam aos interesses dos múltiplos setores interligados visando um menor dano ambiental. Neste contexto, o tema “nexus” ganhou espaço crescente na literatura acadêmica (ZHANG *et al.*, 2019; MENG *et al.*, 2019; BALETA *et al.*, 2019) como uma provável solução para os desafios globais. Dentre esses desafios, estão inseridos o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (ODS) (HOWARTH & MONASTEROLO, 2016) e os objetivos propostos no Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (BIGGS *et al.*, 2015; VARGAS & LEE, 2017).

Desde a consolidação do tema nexus, vários autores têm assinalado complexidades envolvendo sua abordagem. Primeiramente, pode-se apontar a falta de consenso na definição do seu conceito (ENDO *et al.*, 2017; ALBRECHT *et al.*, 2018). Endo *et al.* (2017) e Zhang *et al.* (2018) definem esse termo como um processo para integração e gestão de distintos setores, por meio de uma coordenação intersetorial a fim de promover o desenvolvimento sustentável. Outros pesquisadores o consideram como um “novo pensamento” (RINGER *et al.*, 2013) ou um “novo paradigma da gestão integrada” (AL-SAIDI & ELAGIB, 2017) para lidar com mudanças e desafios globais. Para Wichelns (2017), é apenas uma readaptação de princípios e conceitos já tratados no campo científico.

Além do aspecto conceitual, existem grandes desafios que remetem à sua aplicação e operacionalização, podendo destacar: (1) necessidade de metodologias inovadoras para lidar com suas inter-relações complexas minimizando riscos de investimento e maximizando os retornos econômicos (BHADURI *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2017); (2) quantificação dos fluxos entre seus elementos/modelagem nexus (BIZIKOVA *et al.* 2013; ZHANG *et al.* 2018; ALBRECHT *et al.*, 2018; SHANNAK *et al.*, 2018); (3) questões institucionais, legais e de governança (EMBED & MARTÍN 2018; BAZILIAN *et al.*, 2011; BIZIKOVA *et al.*,2013); (4) escala espacial e temporal de desenvolvimento da abordagem nexus (BIJL *et al.* 2018); (5) disponibilidade, acesso e integração de todas as informações (ZHANG *et al.* 2018; ALBRECHT *et al.* 2018; SHANNAK *et al.* 2018); (6) não possuir uma estrutura reconhecida (BENSON *et al.* 2015; CAIRNS & KRZYWOSZYNSKAK 2016); e (7) falta de clareza quanto às vantagens alcançadas pela implementação prática do conceito nexus comparado ao contexto não-nexus (WICHELS, 2017).

A intensidade desses desafios varia de local para local. É possível inferir, por exemplo, que regiões que apresentam ainda uma fraca percepção ambiental e uma governança precária por parte de empresas, gestores, governantes e sociedade, tendem a dificultar ainda mais a operacionalização da abordagem nexus. Diferentemente disso, regiões que possuem um sistema de governança mais consistente e uma forte percepção ambiental tende a facilitar a sua implantação. Logo, o nível de complexidade, investimentos de tempo e investimentos financeiros que envolvem um modelo de planejamento e gestão pautado no conceito nexus é dependente da realidade de cada local e de suas prioridades governamentais.

Dadas às especificidades de cada localidade e os desafios destacados, pode-se apontar que de forma geral, existe uma compreensão relativamente limitada de como lidar com esses desafios impostos por relações tão complexas. Hussey & Pittock, (2012) e Bizikova *et al.*, (2013) enfatizam que, inicialmente, foi dedicado maior atenção em estudos de revisões de literatura para desenvolver estruturas que ajudem a descrever as ligações entre água-energia-alimento, e mais recentemente, estudos de casos direcionados para fomentar políticas, quantificar inter-relações entre elementos e definir planos de ações (LEESE & MEISCH, 2015; ABDULLAEV & RAKHMATULLAEV, 2016; BECKEN & MCLENNAN, 2016; NHAMO *et al.*, 2018; PUEPPKE *et al.*, 2018; STEIN *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2018; WILLET *et al.*, 2019; DARGIN *et al.*, 2019; NAMANY *et al.*, 2019).

Revisões de literatura tem dado ênfase em discussões teóricas, de forma genérica, geralmente associada à identificação das inter-relações existentes entre seus elementos. Nesses casos, existem estudos direcionados para investigação dos diferentes métodos e modelos capazes de avaliar sistemas integrados (MARTINEZ-HERNANDEZ *et al.*, 2017; KADDOURA *et al.*, 2017; ALBRECHT *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018; BROUWER *et al.*, 2018; DAI *et al.*, 2018; MANNAN *et al.*, 2018; DARGIN *et al.*, 2019), análise de métodos e modelos específicos que incorporam Indicadores de Sistemas Sustentáveis (ISC) usados para avaliar o uso da água nas indústrias (WILLET *et al.*,2019) e auxiliam processos decisórios dinâmicos, como por exemplo, otimização matemática, modelagem baseada em agentes e teoria dos jogos (NAMANY *et al.*, 2019). Estudos adicionais abordaram o conceito nexus no contexto urbano (MENG *et al.*, 2019), e proposição de estruturas conceituais para análise científica e formulação de políticas associadas a esse contexto (ZHANG *et al.*, 2019).

Os estudos de casos, em sua maior parte, envolvem o desenvolvimento do conceito nexus para realidades sociopolíticas em diferentes escalas (país, estado, cidades e organizações, etc.), investigando especialmente, as relações de gestão, governança e políticas multissetoriais (ABDULLAEV & RAKHMATULLAEV, 2016; NHAMO *et al.*, 2018;

PUEPPKE *et al.*, 2018; STEIN *et al.*, 2018; SUN *et al.*, 2018; WILLET *et al.*, 2019; DARGIN *et al.*, 2019; NAMANY *et al.*, 2019). Outros estudos desenvolveram e aplicaram novas metodologias e modelos (LEESE & MEISCH, 2015; AHMAD & KHAN, 2016; BECKEN & MCLENNAN, 2016; UEN *et al.*, 2018) associada à quantificação das inter-relações entre elementos nexus e seus impactos.

Apesar dos avanços dos estudos mencionados, ainda existem lacunas a serem superadas que motivaram esta pesquisa. O ponto central da investigação consiste na falta de procedimentos, metodologias padronizadas (BHADURI *et al.*, 2015; LIU *et al.*, 2017) e estruturas conceituais reconhecidas (BENSON *et al.*, 2015; CAIRNS & KRZYWOSZYNSKAK, 2016) capazes de auxiliar na elaboração de modelos de planejamento e gestão pautados no conceito nexus. Até o momento, não foi identificado estudos que contemplem essa abordagem considerando todas as fases que englobam o conceito nexus mediante múltiplos contextos, variáveis e escalas, além de relacionar suas informações de forma sistemática e padronizada.

Diante do exposto, esta pesquisa concentra-se na: (1) meta-análise do conceito nexus para compreender seus elementos, inter-relações e formas de avaliação e desenvolvimento; (2) investigação das bases de dados setoriais para analisar a viabilização de estudos integrados; (3) análises de interações entre seus elementos em escala nacional e regional, para identificar falhas nos sistemas correlacionados e apontar direcionamentos; (4) avaliação das políticas públicas setoriais, nas escalas definidas, para identificar o nível de integração desses documentos com a proposição nexus; e (5) elaboração de estruturas conceituais para orientar sua aplicação em modelos de planejamento e gestão dos recursos.

1.1 Motivação e Justificativa

A motivação para este trabalho foi baseada em quatro pontos principais:

(1) Incertezas associadas ao desenvolvimento de modelos de planejamento e gestão com base no conceito nexus. Venghaus & Hake (2018) relatam que embora esse conceito tenha desempenhado um papel significativo em grande parte dos debates sobre sustentabilidade política desde seu surgimento, é cada vez mais criticado por seu caráter conceitual e pela falta de praticabilidade. No intuito de contribuir com a redução das incertezas, é preciso inicialmente compreender as variáveis, conceitos e características que envolvem sua abordagem para assim, elaborar procedimentos, metodologias e estruturas que irão nortear sua operacionalização (BENSON *et al.*; 2015; BHADURI *et al.*, 2015; CAIRNS & KRZYWOSZYNSKAK, 2016; LIU *et al.*, 2017).

No aspecto de desenvolvimento metodológico para implementação do conceito nexus, dois estudos podem ser destacados (De STRASSER *et al.*, 2016; MAYOR *et al.*, 2017), porém ambos são restritos quanto a escala espacial de aplicação e não apresentam uma relação de todos os componentes que envolvem uma abordagem nexus. O primeiro estudo compreende a proposição de uma metodologia nexus para bacias transfronteiriças, com base em instrumentos qualitativos (workshops, questionários, entrevistas, reuniões de acompanhamento, etc.) e quantitativos (indicadores) (De STRASSER *et al.*, 2016). O segundo estudo propõe uma metodologia simplificada para identificar interações entre setores e discutir estratégias de mitigação de conflitos no Rio Duero na Espanha (MAYOR *et al.*, 2017).

Atualmente, existe uma necessidade no desenvolvimento de pesquisas que contemplem a elaboração de procedimentos e estruturas sistêmicas e padronizadas relacionados à esse tema,

visando a organização de seus componentes e orientação consistente dos caminhos possíveis para sua implementação.

(2) Insegurança quanto à disponibilidade de bases de dados setoriais, falta de nivelamento entre suas informações, além de limitações dos métodos e modelos existentes quanto à sua capacidade em avaliar múltiplas interações complexas entre elementos nexus (HOFF *et al.*, 2011; EMBID & MARTÍN, 2018, SHANNAK *et al.*, 2018; DAI *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018; ALBRECHT *et al.*, 2018).

Embid & Martín (2018) colocam que a obtenção de dados suficientes para subsidiar pesquisas integradas, propostas pela abordagem nexus, é complexa, uma vez que informações sobre água, energia e agricultura estão espalhadas em distintas instituições, setores e documentos, não existindo um banco de dados compartilhado e acessível. Além desse aspecto, é importante salientar que quando essas informações existem, podem apresentar divergências nos formatos de escalas espaciais e temporais, e uma variedade de métricas, o que dificulta ou impede o seu uso em função da falta de compatibilização e nivelamento entre elas (EFTELIOGLU *et al.*, 2016; EMBID & MARTÍN, 2018).

Visto isso, observa-se que há necessidade de investigar as fragilidades existentes nas bases de dados setoriais para analisar as reais possibilidades de realização de estudos que contemplem avaliações das interações entre diferentes elementos nexus. Esse tipo de investigação se mostra essencial para: (I) definir limites do sistema a ser analisado; (II) direcionar a escolha de métodos e modelos propícios para representar o sistema definido; (III) inferir limitações referentes às análises em função de possíveis falta de dados; e (IV) apontar fraquezas nos setores quanto ao monitoramento de suas informações, além de indicar falhas na consistência dos seus dados.

Importante destacar que os resultados dessa investigação variam de acordo com a realidade de cada local, e que progressos envolvendo o conceito nexus, em especial de caráter quantitativo, não são plausíveis de serem conduzidos sem o suporte de bases de dados para seu desenvolvimento.

(3) Falta do conhecimento panorâmico e sistêmico no Brasil das interconexões entre elementos nexus água-energia-agricultura em escala nacional.

Até o momento, dos estudos levantados no contexto brasileiro, ressalta-se principalmente:

(I) Vilanova & Balestieri (2015) que investigaram o consumo de eletricidade em sistemas de abastecimento de água dos Estados brasileiros (água – energia);

(II) Mariani *et al.* (2016) que abordaram os desafios e oportunidades a serem enfrentados por pesquisadores, empresas e governos frente ao contexto nexus água-energia;

(III) Giatti *et al.* (2016) que analisaram os desafios de aplicabilidade da abordagem nexus quanto a escalas espacial e temporal e a questão da governança no contexto da Metrópole Paulista (água-energia-alimento);

(IV) Semertzidis *et al.* (2018) que avaliaram a pegada hídrica e as perdas por evaporação de algumas usinas hidroelétricas instaladas no país (água – energia);

(V) Moraes & Ferraço (2018) que analisaram a relação nexus água-energia-alimento no contexto da gestão dos recursos hídricos;

(VI) Arroyo (2018) analisou impactos no sistema energético brasileiro à partir de cenários de restrições hídricas;

(VII) Castillo *et al.* (2019) investigaram as relações entre água-energia na produção de bioenergia;

(VIII) Mercure *et al.* (2019) trazem um contexto mais político, discutindo as deficiências no sistema de governança no Brasil sob a ótica das mudanças climáticas;

(VIII) Deveza (2019) avaliou as inter-relações nexus água-energia-alimento no âmbito da operação do Sistema Interligado Nacional, tendo como estudo de caso a bacia hidrográfica do rio São Francisco;

(X) Giatti *et al.* (2019) investigaram as sinergias e contradições a partir de práticas sociais mediante o nexus urbano no bairro Novo Recreio, na cidade de Guarulhos, Região Metropolitana de São Paulo;

(XI) Projeto de pesquisa Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP, 2015) – Mudanças climáticas e suas relações com Energia, Água e Agricultura;

(XII) Projeto de pesquisa da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) (2016) - Resiliência e vulnerabilidade quanto ao nexus urbano de alimentos, água, energia e ambiente (ResNexus);

(XIII) Projeto de pesquisa da Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais (Rede Clima)/Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2016) – Mapeamento da demanda de água, energia e alimento na bacia hidrográfica do rio São Francisco diante cenários de mudanças climáticas para definir soluções sustentáveis;

(XIV) Associado aos resultados alcançados no Projeto apresentado no item XII: Araujo *et al.* (2019) apresenta a utilização da abordagem nexus pela Rede Clima no Brasil através da apresentação do estudo de caso na bacia hidrográfica do rio São Francisco;

(XV) Projeto de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)/ (CNPq, 2017a) - NEXUS I: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Caatinga e Cerrado;

(XVI) Projeto de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC)/ (CNPq, 2017b) - NEXUS II: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Pampa, Pantanal e Mata Atlântica.

Observa-se que pesquisas envolvendo o conceito nexus têm evoluído muito no Brasil desde o ano de 2015, com maior ênfase nos últimos três anos. O mapeamento das inter-relações e interdependências entre os segmentos de água, energia e agricultura, de forma sistemática em escala Nacional, são fatores necessários e relevantes para o reconhecimento do panorama dessas relações nos limites territoriais do país. Conhecendo o “todo”, dentro dos limites espaciais determinado, é possível realizar investigações em escalas menores de maneira mais consistente.

(4) Estudos insuficientes contemplando avaliações das interdependências entre políticas públicas multissetoriais no contexto brasileiro. O desenvolvimento e implementação do conceito nexus em modelos de planejamento e gestão exigirá, além das avaliações entre seus recursos, a proposição de procedimentos, metodologias e estruturas que expliquem explicitamente as interdependências entre suas políticas (VENGHAUS & HAKE, 2018).

Para implementação da abordagem nexus é preciso analisar a coerência das políticas setoriais e dos arranjos institucionais existentes. Para Bazilian *et al.* (2011), as organizações

institucionais ainda não estão suficientemente estruturadas para apoiar o diálogo nexus. Larcom & Gevelt, (2017) e Embid & Martin (2018) apontam a importância de avaliar se os regulamentos setoriais que já existem são adequados para os requisitos da abordagem nexus. Larcom & Gevelt (2017) acrescentam que nem sempre requer uma revisão radical dos marcos regulatórios e do sistema de governança, uma vez que alguns regulamentos podem estar estruturados para lidar com as implicações inerentes ao contexto nexus, havendo necessidade meramente de revisões e uma melhor articulação. Diante disso, é possível perceber que trabalhos que contemplem avaliações das políticas setoriais, mediante identificação de seus pontos fortes e fracos, congruências e incongruências relacionadas ao conceito nexus, tendem a representar uma grande contribuição para o tema em questão.

Estudos prévios têm sido conduzidos no sentido das investigações propostas pelos autores. Venghaus & Hake (2018) realizaram uma análise das políticas atuais da União Europeia com ênfase específica na investigação de sua coerência com a abordagem nexus. Embid & Martín (2018) definiram delineamentos de políticas públicas para um melhor gerenciamento das inter-relações entre água, energia e alimento, voltado para o contexto da América Latina e Caribe. Portney *et al.* (2017) analisaram o nível de compreensão da população dos Estados Unidos quanto à abordagem nexus e relataram a relevância dos resultados alcançados na proposição e implementação de políticas.

Consideram-se os pontos abordados de alta relevância, tanto para a ciência quanto para o conhecimento técnico, por acreditar que todas as relações que envolvem o sistema natural e à sociedade são dinâmicas, complexas e multidimensionais, apresentando constante evolução. Planos e políticas públicas isoladas, fragmentadas e descoordenadas tendem a levar na ineficiência e ineficácia de ações, exigindo cada vez mais a intersectorialidade dos modelos de gestão e a reestruturação do arranjo setorial de forma que seja compartilhado e que promova as interações e a cooperação entre os diversos setores correlacionados (CISNE, 2012). Diante disso, a busca pelo equilíbrio entre recursos naturais e atividades econômicas, mediante um território, requer a compreensão e o reconhecimento dos processos que existem na totalidade dos sistemas complexos, suas redes de inter-relações e interdependências.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Propor estruturas conceituais, procedimentos e metodologias para auxiliar na inserção do conceito nexus Água – Energia – Agricultura em modelos intersectoriais de planejamento e gestão dos recursos naturais.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar as principais características e variáveis de composição do conceito nexus;
- Identificar, analisar e selecionar bases de dados multissetoriais com a finalidade de auxiliar o desenvolvimento de pesquisas integradas quali-quantitativas de caráter técnico e científico;
- Mapear as inter-relações entre elementos nexus Água – Energia (termelétrica, petróleo e usinas hidrelétricas) – Agricultura irrigada presentes no contexto brasileiro;

- Avaliar o nível de integração entre políticas públicas setoriais, presentes no Brasil, com o conceito nexus.

1.3 Organização do trabalho

Visando atender aos objetivos propostos, o trabalho está organizado em cinco capítulos, além deste Capítulo 1. O Capítulo 2 traz a revisão de literatura que compreende a explanação de temas como: inter-relações entre Água – Energia; consumo de energia no contexto do saneamento; inter-relações entre Água – Energia – Agricultura; e impactos dos segmentos de agricultura, energia e água nos ecossistemas.

O Capítulo 3 traz a metodologia do presente estudo sendo dividida em três partes: Revisão de literatura para proposição de um procedimento sistemático de desenvolvimento do “conceito nexus” (Parte I); Proposição de um procedimento metodológico para identificação, análise e seleção de bases de dados multissetoriais (Parte II); e Identificação e análise das inter-relações entre elementos nexus (Parte III). Toda aplicação do estudo foi realizada para o contexto brasileiro.

Após apresentação da metodologia, no Capítulo 4 são apresentados os resultados e discussões referente a metodologia proposta e finalmente, os Capítulos 5 e 6 apresentam as conclusões/recomendações e a lista de referências bibliográficas, respectivamente.

Capítulo 2

NEXUS ÁGUA – ENERGIA – AGRICULTURA/ALIMENTO

A gestão integrada entre múltiplos setores, conhecida popularmente como “Water-Energy-Food (WEF) nexus” refere-se a uma estrutura conceitual que propõe uma gestão interligada e interdependente entre os setores de água, energia e alimento, a partir da boa governança desses sistemas para concepção de políticas e ações mais eficientes e sustentáveis (WEF, 2011; HOFF, 2011; EMBID & MARTIN, 2017). Outros conceitos “nexus”, abordados por diferentes autores, podem ser visualizados na Tabela 1.

Tabela 1: Conceitos nexus abordados por diferentes autores

Conceito “Nexus”	Fonte
Melhorar a segurança hídrica, energética e alimentar, aumentando a eficiência, reduzindo as compensações, criando sinergias e melhorando a governança em todos os setores.	WEF (2011)
É visto como um paradigma da gestão integrada de recursos. Nesse sentido, o paradigma da gestão integrada de água, energia e alimento referem-se a diferentes conceitos, variáveis e métodos que analisam três aspectos: (a) intersectorialidade das questões de uso dos recursos; (b) interdependência e interdisciplinaridade das decisões gerenciais; e (c) internacionalidade dos impactos nas alocações de recursos.	Al-Said & Elagib (2017)
Perspectiva baseado em sistemas que reconhece explicitamente que água, energia e alimentos são interconectados e interdependentes. Essa abordagem visa maximizar as sinergias e minimizar os trade-offs, melhorar a eficiência do uso de recursos e internalizar impactos sociais e ambientais, particularmente em uma variedade de contextos e escalas.	Bazilian <i>et al.</i> (2011), Wolfe <i>et al.</i> (2016), Foran (2015) Albrecht <i>et al.</i> (2018), Becken & McLennan (2016)
Modelo conceitual que ilustra as interconexões entre diferentes recursos; em outras palavras, ele exhibe visualmente que um (ou mais) recurso é usado como entrada para produzir outros recursos.	Bleischwitz <i>et al.</i> (2013)
É uma estrutura de sistemas ideal que visa orientar a produção de alimentos em direção a uma agricultura sustentável, ou seja, atender à crescente demanda por alimentos em função do crescimento populacional, sem interferir na segurança hídrica e energética.	Tian <i>et al.</i> (2018)
Aproxima-se a concepções e iniciativas vinculadas à economia ecológica, permitindo uma racionalidade e ações voltadas a investir na conservação de serviços ecossistêmicos, criar mais com menos e acelerar o acesso de grupos excluídos promovendo inclusão de populações mais pobres.	Allouche <i>et al.</i> (2015), Giatti <i>et al.</i> (2016)
Representa um meio multidimensional de investigação científica que procura descrever as interações complexas e não lineares entre água, energia, alimentos, e clima para entender melhor as suas implicações na sociedade.	Howarth & Monasterolo (2016)
Uma metáfora para a interconectividade. Chama a atenção para as interdependências entre os sistemas de recursos e políticas e entre os diversos atores que moldam esses sistemas.	Stein <i>et al.</i> (2018)
Um meio multidimensional de investigação científica que procura descrever as interações complexas e não lineares entre água, energia, alimentos, e clima, compreendendo melhor as implicações mais amplas para a sociedade. Pode ser definida também como uma abordagem analítica para derivar soluções otimizadas com base em uma avaliação integrada dos desafios e oportunidades presentes nos setores de água, energia e alimento.	Howarth e Monasterolo (2016), Venghaus & Hake (2018)

Tabela 1: Continuação

Conceito “Nexus”	Fonte
Um processo para integração e gestão de distintos setores, por meio de uma coordenação intersetorial a fim de promover o desenvolvimento sustentável.	Endo <i>et al.</i> (2017), Zhang <i>et al.</i> (2018)
Um conceito útil para descrever e abordar a natureza complexa e inter-relacionada entre os sistemas globais, dos quais dependemos para alcançar diferentes objetivos econômicos e ambientais.	Flamini <i>et al.</i> (2014)
Rede de conexões entre ideias, processos ou objetos diferentes, o que implica em um número infinito de possíveis vínculos e relações, de modo que é possível obter diferentes resultados em função de diferentes interações entre elementos nexus.	Leese & Meisch (2015)
Metodologia integradora entre os sistemas de água-energia-alimentos, enfatizando a necessidade de um manejo integrado entre eles.	Ferraço & Moraes (2018)
Representa uma abordagem sistêmica usada para promover o gerenciamento eficiente de recursos considerando as interdependências que existem entre eles.	Namany <i>et al.</i> (2019)
Conceito orientado pela sustentabilidade que integra explicitamente os domínios dos recursos (biomassa, alimentos, energia e outros).	Sarkodie <i>et al.</i> (2019)
A palavra "nexus" deriva do verbo latino nectere, que significa "conectar". No caso da abordagem nexus, esse termo é usado para examinar as conexões, as inter-relações entre diferentes componentes e sistemas, bem como suas interdependências.	De Laurentiis <i>et al.</i> , (2016); Nawab <i>et al.</i> (2019); Simpson & Jewitt (2019); Bamwesigye <i>et al.</i> (2019)
Além das inter-relações físicas, alguns estudiosos também afirmaram que o termo nexus indicava a “estreita interconexão entre as políticas de água, energia e alimento”, uma vez que a maioria dessas políticas existentes se encontrava segmentadas setorialmente.	Hussey & Pittock, (2012); Zhang <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Próprio autor

Conforme pode ser observado existe diferentes abordagens para o conceito nexus, sendo apresentado como um modelo, uma estratégia, uma diretriz de gerenciamento intersetorial ou um paradigma da gestão dos recursos naturais. Simpson & Jewitt (2019) colocam que o debate sobre o significado de “nexus” é um conceito em evolução, com muitas concepções semelhantes e sobrepostas. Além deste aspecto, deve-se considerar que existem alguns autores que questionam a inovação trazida pelo conceito nexus (ALLOUCHE *et al.*, 2015 ; BENSON *et al.*, 2015 ; MULLER, 2015; WICHELNS, 2017), mesmo reconhecendo as diferenças que existem desse conceito (multicêntrico) com outras concepções já existentes na literatura científica, podendo citar fortemente a comparação com a Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (centralizado na água) (ALLOUCHE *et al.*, 2015; BENSON *et al.*, 2015; AL-SAIDI & ELAGIB, 2017).

As primeiras discussões relacionadas ao conceito nexus foi promovida inicialmente em 2008 por empresas multinacionais do setor de alimentos e do setor de bebidas integrantes do grupo “2030 Water Resources Group (WRG)”, como por exemplo, Grupo Barilla, Coca-Cola, Nestlé, SABMiller, PepsiCo e New Holland Agriculture (LEESE & MEISCH, 2015).

O WRG se formou porque seus membros consideravam a escassez de água uma ameaça econômica e política para suas operações globais (LEESE & MEISCH, 2015). As iniciativas do WRG serviram como base para o lançamento do relatório “*Water security: the water-food-energy-climate nexus*” pelo *World Economic Forum* (WEF, 2011). A partir do ano de 2011, o tema apresentado nesse relatório passou a ser utilizado em várias conferências (Quadro 1) que antecederam o Rio+20 sobre desenvolvimento sustentável (BIZIKOVA *et al.*, 2013). Dentre essas conferências, a que proporcionou maior visibilidade para a abordagem nexus ocorreu em Bonn na Alemanha intitulada “*The Water, Energy and Food-Security*

Nexus – Solutions for the Green Economy” (WEF, 2011; BENSON *et al.*, 2015; BIGGS *et al.*, 2015). Desde então, vários estudos de casos empíricos tem sido desenvolvidos em todo o mundo enfatizando as interdependências dos três setores (LEESE & MEISCH, 2015) e as estratégias para sua operacionalização. Logo, uma iniciativa que surgiu de uma demanda de multinacionais da economia global passou a ser reconhecida como uma maneira contemporânea de entender e abordar o desenvolvimento sustentável (PANDEY & SHRESTHA, 2017) na busca do equilíbrio entre sistema natural e sociedade.

Quadro 1: Exemplos de eventos relacionados ao tema nexus ocorridos no período de 2011 – 2018

Nome da Conferência/ Workshop	Localização	Ano
Conferência Nexus de Bonn 2011 “Bonn 2011 Nexus Conference”	Bonn - Alemanha	2011 - 2012
Conferência Internacional do Rio Mekong sobre Gestão de Bacias Transfronteiriças “Mekong Rio International Conference on Transboundary River Basin Management”	Vientiane - Laos	
6º Fórum Mundial da Água “6th World Water Forum (water, energy and food are all included in the conference’s priorities)”	Marseille - França	
Água-Energia-Segurança Alimentar: Novos desafios e novas soluções para a gestão da água. “Water–Energy–Food Security: New challenges and new solutions for water management”	Winnipeg - Canadá	
Nexus Água – Energia - Meio Ambiente - Alimento: Soluções e adaptações sobre mudanças climáticas. “Water, Energy, Environment and Food Nexus: Solutions and adaptation under changing climate”	Lahore - Paquistão	
Fórum Sul-Africano sobre Água – Energia - Alimento: - Gerenciando o meganexo. “South African Water, Energy and Food Forum: “Managing the meganexus”	Sandton – África do Sul	
Impulsionando o Progresso Juntos: Fórum sobre Energia - Água – Alimento “Powering Progress Together: Forum on Energy, Water and Food”	Rotterdam – Holanda	
Sustentabilidade Empresarial na África 2012: Nexo água - alimento – energia. “Corporate Sustainability in Africa 2012: “Living in the water, food and energy nexus”	Johannesburg – África do Sul	
Nexus Água - Alimento - Aquicultura como parte integrante para minimizar o uso de recursos para a produção animal e vegetal “Water Food Energy Nexus - Blue aquaculture as an integrative part to minimize use of resources for animal and plant production”	Berlin - Alemanha	
Alimentos - Energia - Água (para todos) “Food Energy Water (for all)”	Inglaterra	
Gerenciando Água, Energia e Alimentos em um Mundo Incerto. “Managing Water, Energy, & Food in an Uncertain World”	Argentina	
Semana Mundial da Água (temas para 2012 foram água e segurança alimentar) ”World Water Week”	Stockholm - Suécia	
10ª Conferência da Água do Golfo “10th Gulf Water conference”	Arábia Saudita	
Conferência global - Rural Energy Access: A Nexus Approach to Sustainable Development and Poverty Eradication	Etiópia	
Conferência - Acesso à energia e ao nexus água – alimento "Energy Access and the Nexus with Water and Food"	Itália	
Workshop - Eficiência de Recursos nas Cidades Asiáticas: Nexus Urbano "Resource Efficiency in Asian Cities: The Urban Nexus"	Bangkok / Tailândia	
Fórum de Políticas - Berlin2013: Realizando o Nexus Água, Energia e Segurança Alimentar "Realizing the Water, Energy and Food Security Nexus"	Berlin - Alemanha	2014
Simpósio - Soluções de Infraestrutura nexus Água-Energia-Alimentos “Symposium on Infrastructure Solutions in the Water-Energy-Food Nexus”	Beijing/China	
Conferência - Sustentabilidade nos nexus Água-Energia-Alimentos "Sustainability in the Water-Energy-Food Nexus"	Bonn/Alemanha	
Workshop - Observações da Terra e o Nexus Água-Energia-Segurança Alimentar "Earth Observations and the Water-Energy-Food Security Nexus"	Roma/Itália	

Quadro 01: Continuação

Nome da Conferência/ Workshop	Localização	Ano
"Nexus 2014: Conferência sobre Água, Alimentos, Clima e Energia "Nexus 2014: Water, Food, Climate and Energy"	Chapel Hill / Estados Unidos	2014
14th Delhi Sustainable Development Summit "Attaining Energy, Water and Food Security for All"	Delhi/Índia	
DialogueWater-energy-food Nexus: developing a research agenda for South Africa	África do Sul	2015
Nexus café @ Climate Week	Rio de Janeiro/Brasil	
Fórum - The 2015 Greater Mekong Forum on Water, Food, and Energy	Phnom Penh/ Camboja	
Workshop - Incertezas do futuro consumo de água, energia e alimentos no Reino Unido "Uncertainties of future UK water, energy & food consumption"	Reino Unido	
Navegando do risco à resiliência no nexus de água, alimentação e energia: perspectivas globais e canadenses "Navigating from risk to resilience in the water-food-energy nexus"	Canadá	2016
UNECE Global Workshop on the Water-Food-Energy Ecosystems Nexus	Genebra	
Science Collaboration Symposium The Water-Food-Energy Nexus	Reino Unido	
Workshop - O Nexo Água-Energia-Alimentos e seus vínculos com a implementação dos ODS "The Water-Energy-Food Nexus and its Linkages to the Implementation of the SDGs"	África do Sul	
Session "Managing the Water-Energy-Food Nexus" at the Regional Dialogue on Extractive Industry Governance and Infrastructure, ECLAC, Santiago, Chile	Santiago/ Chile	
World Water Congress 2016 - Water and Energy Nexus	Austrália	
Webinar - Água, energia e segurança alimentar na Amazônia: desafios e oportunidades " Water, Energy, Food Security in the Amazon: Challenges and Opportunities (Spanish)	Lima, Bogotá, Quito	
Workshop - The Nexus Approach and Safe Use of Wastewater in Agriculture	Tunísia	2017
Workshop - Water-Energy-Food Nexus Implementation in the Maghreb	Marrocos	
ASTECHNOVA 2017Innovative Sustainable System in Energy-Food-Water Nexus	Indonésia	
AICHe Annual Topical Conference: The Food-Energy-Water Nexus	Estados Unidos	
Workshop - Energy, water and food security in relation to climate change and social inequality in the Andes	Peru	
Session at the World Resources Forum 2017The Water-Food Nexus	Suíça	
7th WaterLinks Forum Solving Asia's Urban Water Crisis: The WaterFood-Energy-Climate Change Nexus	Filipinas	2018
8º Fórum Mundial da Água "World Water Forum 2018"	Brasília/Brasil	
Nexus Regional Dialogue MENA - The National Dialogue Meeting on Water, Energy and Food Nexus in Sudan	Sudão	
The Water-Energy-Food Nexus in the Levant Challenges and Opportunities	Líbano	
ICT2018 Vienna SIM4NEXUS Water-Energy-Land-Food-Climate Serious Game	Austrália	

Fonte: Adaptado de Bizikova *et al.* (2013); Nexus - The Water, Energy & Food Security Resource Platform (2019).

O foco principal dos eventos apontados no Quadro 1 era promover uma maior discussão sobre as inter-relações existentes entre água, energia e produção de alimentos, enfatizando a insegurança associada à disponibilidade desses recursos. Como principais resultados desses fóruns incluem o alcance de um diálogo internacional sobre sistemas interconectados e a

busca pela segurança dos recursos naturais que resultou em recomendações políticas e direcionamentos de investimentos (BIZIKOVA *et al.*, 2013).

Dos eventos apresentados no Quadro 1, pode-se destacar a Conferência “*Nexus 2014: Water, Food, Climate and Energy*” realizada no ano de 2014 na Universidade da Carolina do Norte em *Chapel Hill*, Estados Unidos (DODDS & BARTRAM, 2016). Neste evento enfatizaram a necessidade de alcançar a coerência de políticas intersetoriais e a necessidade da cooperação inter-fronteiras, conforme necessário, para uma governança bem-sucedida e um fornecimento sustentável de água, energia, alimentos e serviços ecossistêmicos (AL-ZU’BI, 2017). Foi muito debatido a importância dos gestores alcançarem uma governança responsável dos recursos naturais, um amplo envolvimento das partes interessadas para colaborar em direção ao desenvolvimento sustentável, e a necessidade de expandir recursos financeiros, institucionais, técnicos e intelectuais para pesquisas envolvendo a abordagem nexus (AL-ZU’BI, 2017).

Os organizadores da Conferência, Dodds & Bartram (2016), relataram sobre o evento que está cada vez mais claro que não há lugar em um mundo interligado para soluções isoladas destinadas a apenas um setor. No Brasil, no ano de 2018, ocorreu o 8º Fórum Mundial da Água, e a temática nexus foi abordado em distintos aspectos por vários países, apresentando os avanços e experiências da utilização dessa abordagem em seus contextos regionais, incluindo o Mediterrâneo, África, região Árabe, Europa, América, Ásia – Pacífico, dentre outros. Além de discutir estudos de casos específicos referentes a esses países, foram abordadas as relações nexus com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e os desafios para alcançar soluções integradas intersetoriais mediante a operacionalização da abordagem nexus.

2.1 Inter-relações entre elementos nexus

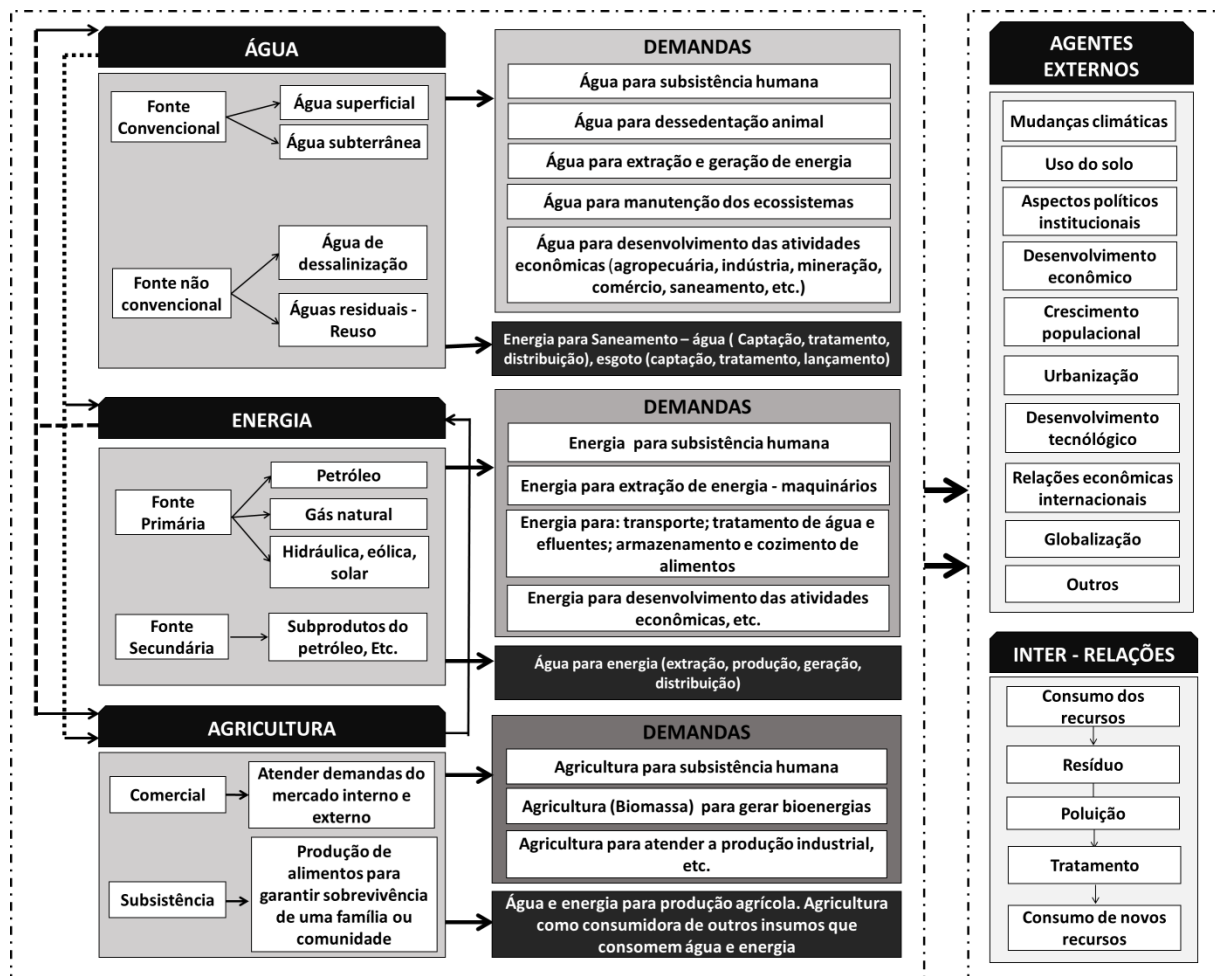
Os itens Água – Energia – Agricultura (AEA) estão inevitavelmente ligados entre si, ou seja, a água precisa de energia para tratamento e distribuição, enquanto a energia precisa de água para extração e/ou produção; tanto a água como a energia são utilizadas na produção dos alimentos; os produtos agrícolas fornecem bioenergia; e o consumo desses recursos promovem impactos negativos na qualidade e quantidade de água, quando não tratados adequadamente (WICAKSONO *et al.*, 2017).

Segundo Karabulut *et al.* (2016), o ecossistema deve ser inserido nas relações nexus como o principal componente do sistema por subsidiar a própria existência e manutenção de todos os demais elementos. O ecossistema além de ser o provedor dos recursos é também o receptor de impactos provenientes do desenvolvimento de atividades econômicas e sócio-culturais. Sabe-se que o consumo de AEA pode gerar perdas e poluição para o meio ambiente e para a população. Os impactos promovidos no meio ambiente reduzem a disponibilidade dos recursos e geram moléstias nos seres humanos, perturbação e mortandade de animais. Além disso, todos esses itens são impulsionados pelos mesmos agentes externos (motores-chave): mudanças climáticas, uso do solo, aspectos políticos institucionais, crescimento populacional, urbanização, globalização, relações econômicas internacionais, dentre outros.

A Figura 1 sintetiza as diversas interações prováveis de serem conduzidas nas relações entre AEA. Em primeira instância, é imprescindível determinar os elementos participantes do processo de análise nexus e definir quais relações serão consideradas, uma vez que existem várias fontes de energia, água e alimento; várias saídas condicionadas por essas conexões e uma complexidade de agentes externos que o impulsionam e modificam o seu

comportamento. O aprofundamento das inter-relações entre AEA serão apresentadas no decorrer deste capítulo.

Figura 1: Fluxograma das principais relações entre Água – Energia – Agricultura



Fonte: Próprio autor

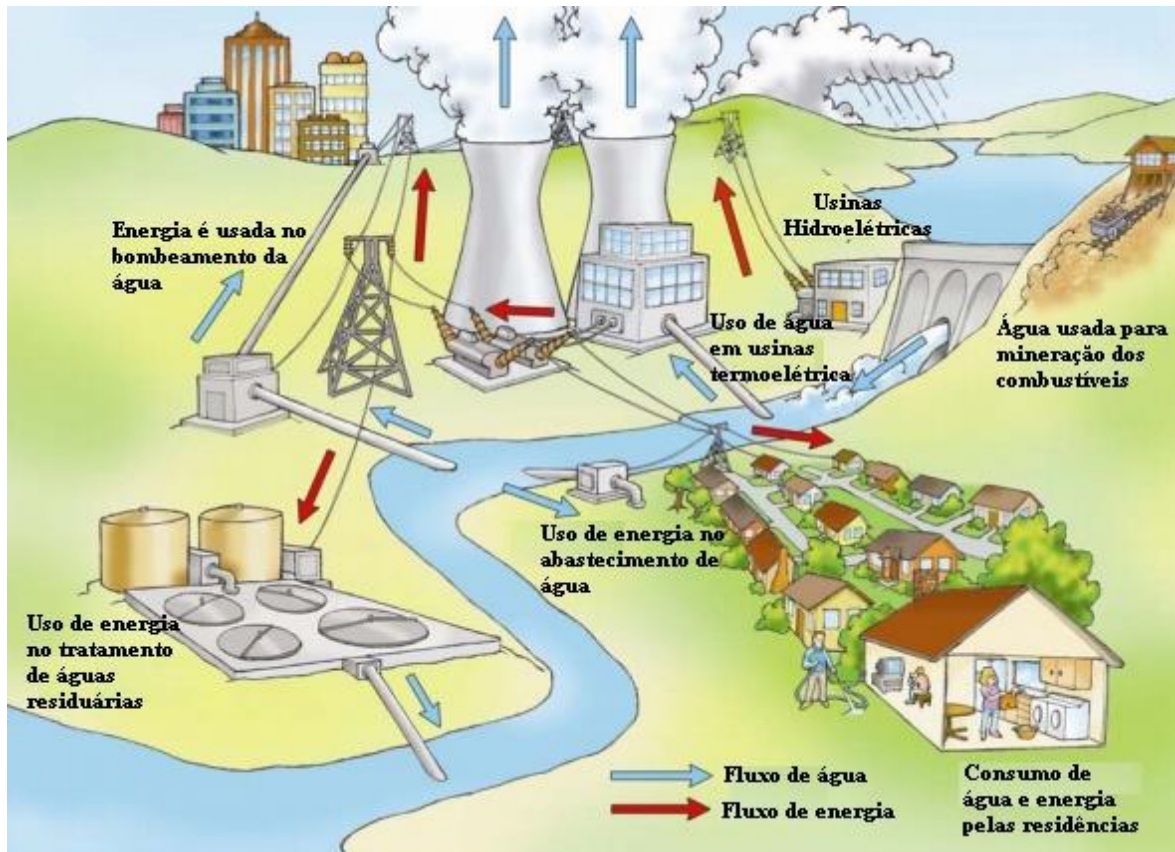
2.1.1 Água - Energia

A água é necessária para cada estágio de produção de energia, e a energia é necessária para o fornecimento e tratamento da água (Figura 2), tendo essa interdependência implicações significativas para a segurança energética e hídrica (MAAS, 2010; MELDRUM *et al.* 2013; WALKER *et al.*, 2014; IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016; SANDERS & MASRI, 2016). O setor de energia é, portanto, altamente vulnerável às mudanças nos recursos hídricos, especialmente aquelas que podem resultar de potenciais alterações climáticas (MELDRUM *et al.* 2013; MACKNICK *et al.* 2011; KING *et al.*, 2013; BECKEN & MCLENNAN, 2016).

A Figura 2 aponta os fluxos entre água e energia dentro do contexto de água potável, saneamento e tecnologias energéticas. Observa-se que a redução do consumo de qualquer um desses elementos em qualquer contexto de aplicação tende a gerar economias em vários setores correlacionados. Copeland & Carter (2017) indicam que iniciativas de eficiência energética oferecem oportunidades para proporcionar uma economia significativa de água e, do mesmo modo, iniciativas de eficiência no uso da água oferecem oportunidades para

proporcionar economias significativas no setor de energia. Além disso, economizar água também reduz as emissões de carbono por reduzir o consumo de energia na captação, tratamento e distribuição, consequentemente, contribui para a redução das mudanças climáticas (COPELAND & CARTER, 2017).

Figura 2: Inter-relações entre Água - Energia



Fonte: Adaptado de USDOE (2006)

Bach *et al.* (2012) colocam que as mudanças climáticas irão exigir uma maior diversificação nas matrizes energéticas globais. Tanto as mudanças climáticas quanto o aumento da demanda por energia, devido ao crescimento populacional e desenvolvimento econômico, vem impulsionando a maior diversificação das matrizes energéticas, através de programas governamentais e maior incentivo à iniciativa privada.

Segundo Hussey & Pittock (2012) para encontrar as interconexões entre água e energia e alcançar a eficiência de ambos os sistemas, os formuladores de políticas precisam compreender três perguntas chaves:

- Quais são os impactos das políticas e regulamentações de água sobre os suprimentos e demandas de energia?
- Quais são os impactos das políticas de regulamentações de energia nas demandas e disponibilidade de água?
- Como as políticas de mitigação e adaptação climática afetam as políticas desenvolvidas nos setores de energia e água?

Ainda segundo os autores, para minimizar o consumo de água e energia nos setores privados (indústrias) é preciso repensar sobre os seguintes aspectos (HUSSEY & PITTOCK, 2012):

- Quais são as pegadas de energia e água nos processos e técnicas de produção?
- Como é possível reduzir as pegadas de energia e água? Através da inovação tecnológica, processos alterados, fornecedores alternativos, iniciativas de educação ao consumidor?
- Quais são os prováveis impactos de novos regulamentos, padrões e incentivos relacionados a energia - água nos processos de produção e como é possível melhorá-los?

No intuito de responder aos questionamentos levantados pelos autores (HUSSEY & PITTOCK, 2012), é necessário antes compreender as relações existentes entre água e energia. Neste sentido, o Quadro 2 apresenta o consumo de água (média global) para diferentes tecnologias energéticas. A relação do consumo de água nas diferentes tipologias energéticas, apresentadas no Quadro 2, podem ser melhor explanadas nos estudos de U.S. Department of Energy (2001); McMahon & Price (2011); Gerbens-Leenes *et al.* (2009); Macknick *et al.* (2012) e Masanet *et al.* (2013). Para quantificação do consumo de água, a maioria dos autores utilizaram como suporte os métodos, Análise do Ciclo de Vida (ACV) e/ou pegada hídrica.

Quadro 2: Consumo de água para diferentes fontes de energia

Tipo de energia		Extração e Processamento (m ³ /GWh)	Origem - Distribuição (m ³ /GWh)	Origem – Produção líquida m ³ /GJ
Carvão	Mineração de superfície	23 - 200	160 - 5160	0,12 - 0,29
	Mineração Subterrânea	64 - 870	200 - 5800	
Gás Natural	Gás Natural convencional	4 - 100	4 - 4530	0 - 0,01
	Gás de Xisto	8 - 800	8 - 5230	0,04 - 0,06
Nuclear (Urânio)		50 - 1250	430 - 4450	0,03 - 0,05
Solar	Fotovoltaica	20 - 800	20 - 810	-
	Energia Solar Concentrada	300 - 640	400 - 4800	
Eólica	Onshore	0 - 35	4 - 42	
	Offshore	0 - 35	0 - 38	
Hidráulica		1 à 60	5400 - 68200	
Geotérmica		8 a 7600	26 - 2730	
Oceânica		60 - 220	60 - 220	
Óleo Convencional		-	-	0,01 - 0,02
Biocombustíveis	Cana-de-açúcar (etanol)	-	-	25 - 108
	Beterraba sacarina (etanol)	-	-	13 - 23
	Milho (etanol)	-	-	9 - 200
	Soja (biodiesel)	-	-	50 - 394
	Colza (biodiesel)	-	-	400 - 574

Fonte: Traduzido de Chang *et al.* (2016)

O consumo de água em hidrelétricas está associado as taxas de evaporação dos reservatórios, que variam principalmente conforme sua área de exposição, volume armazenado e clima local. As usinas eólicas e solar fotovoltaica possuem o menor consumo de água em suas operações, dentre as tipologias apresentadas no Quadro 2. Esses tipos de tecnologias de energia podem ser implantados em áreas de estress hídrico sem grandes riscos de geração reduzida (MACKNICK & COHEN, 2015). No caso de energia solar concentrada, por utilizar sistema térmico, demandam de uma maior quantidade de água na conversão de energia solar em elétrica (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2001; RAWAT & DHIRAN, 2017). No Quadro 2 não foi apresentado o consumo de água em termelétricas devido sua grande

variação associada a tecnologia da usina e o combustível utilizado, como pode ser visualizado no próximo item.

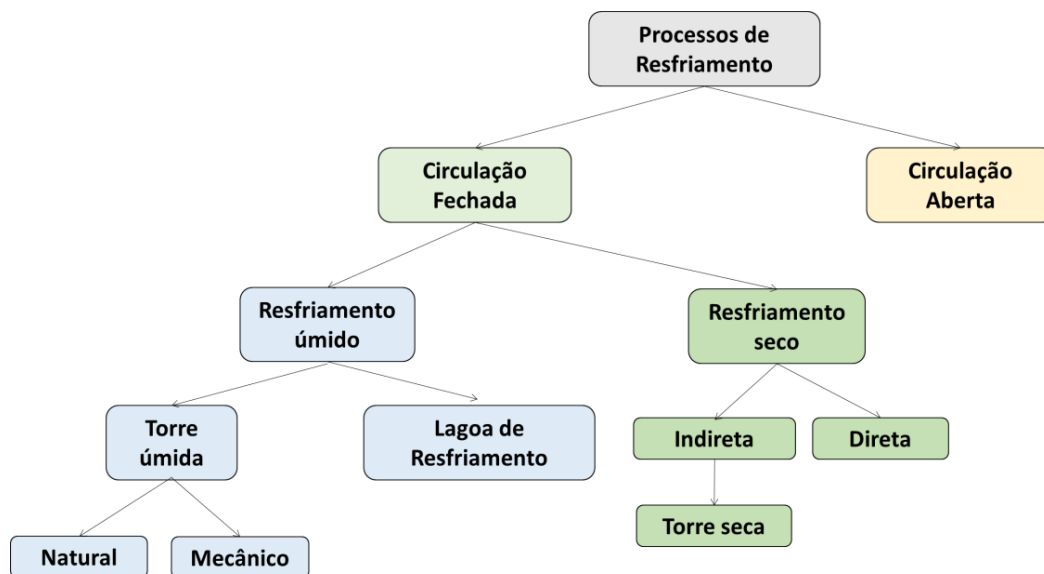
- **Termelétrica**

“A termoeletricidade consiste na conversão da energia térmica liberada por um combustível em eletricidade por meio da operação de um ciclo termodinâmico” (IEMA, 2016). Esses tipos de usinas consomem água e energia para seu funcionamento. O consumo de água em uma UTE irá variar de acordo com o tipo de combustível usado pela usina, sistema de resfriamento, ciclo termodinâmico (BAZILLIAN *et al.*, 2011; PECK & SMITH, 2017), e condições ambientais (PECK & SMITH, 2017). Esses itens associados aos fatores climáticos (temperatura do ar, umidade relativa e pressão atmosférica) e tecnológicos (idade dos equipamentos, periodicidade de manutenção e da configuração do ciclo termodinâmico) levam a eficiência global de uma usina térmica (FGV - Fundação Getúlio Vargas, 2019).

Para FGV - Fundação Getúlio Vargas (2019), a configuração do ciclo termodinâmico (transformações físicas produzidas por um sistema de forma sequenciada visando realizar trabalho, retornando ao seu estado inicial ao completar seu ciclo) é a variável de maior impacto na medição da eficiência de uma UTE. Os ciclos termodinâmicos utilizados direcionam o tipo de combustível a ser utilizado. Os principais ciclos podem ser divididos em: (a) *Rankine* (uso da água como meio de transporte do calor); (b) *Brayton* (uso de gás como meio de transporte do calor, preferencialmente, ar atmosférico); e (c) ciclo combinado (junção dos ciclos Brayton e Rankine) (IEMA, 2016; TOLMASQUIM, 2016; GUIMÃES FRANCISCO, 2018; FGV - FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS, 2019). Enquanto o uso da água está associado principalmente: a geração de vapor d’água para as turbinas; condensação do vapor d’água; torres de resfriamento; e tratamento de emissões e material particulado que inclui a purga nos trocadores de calor (água drenada da bacia da torre de resfriamento para reduzir a concentração de contaminantes na água circulante) (MEDEIROS, 2003; BAZILLIAN *et al.*, 2011; ARROYO, 2012; PECK & SMITH, 2017).

De acordo com Gerdes & Nichols (2009), existem basicamente dois tipos de sistemas de resfriamento da água: circulação fechada e circulação aberta (Figura 3).

Figura 3: Classificação dos tipos de Processos de Resfriamento



Fonte: Adaptado de Gerdes & Nichols (2009)

Nos sistema de resfriamento com circulação aberta a água é retirada de uma fonte externa, passa pelo processo de condensação no ciclo à vapor e após, a água retorna à fonte com temperatura e minerais alterados (maior temperatura e presença de poluentes) (GERDES & NICHOLS, 2009). Esse sistema retira grandes volumes de água, porém, consome pouco. Para minimizar o impacto térmico no corpo receptor, uma torre de resfriamento pode ser adicionada (GERDES & NICHOLS, 2009).

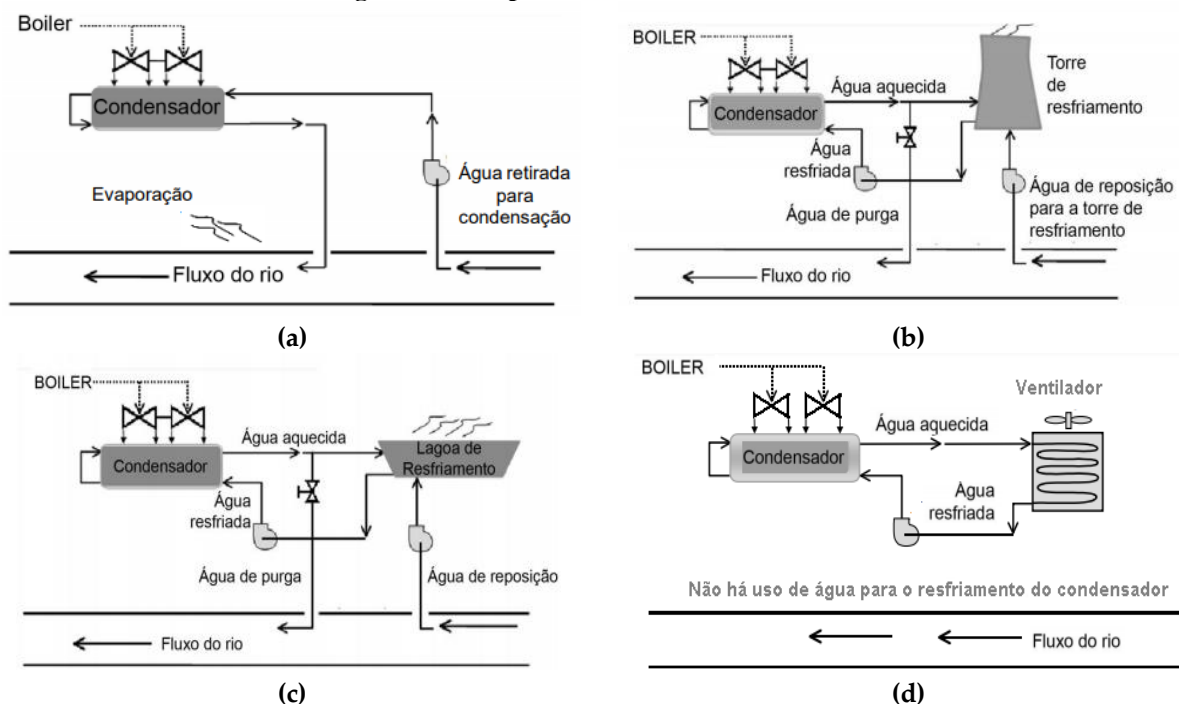
Sistema de Resfriamento de circulação fechada em torre úmida, a água é resfriada por uma corrente ascendente de ar pelo princípio da evaporação, podendo a inserção de ar ser de forma mecanizada (uso de ventiladores) ou natural (utilizam grandes chaminés de concreto facilitando uma corrente de ar natural na torre) (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2002; GERDES & NICHOLS, 2009; ARROYO, 2012; NRDC, 2014; CHANG *et al.*, 2016). A água após passar pelo processo de resfriamento é recirculada no processo de condensação (ARROYO, 2012). Nestes sistemas é necessária água de reposição para substituir a água que evapora associada a água de purga (GERDES & NICHOLS, 2009). A evaporação promove uma maior concentração de minerais e sedimentos que devem ser eliminados acarretando perdas de água de purga (ARROYO, 2012). As perdas por evaporação representam o maior consumo de água em um sistema de torre de resfriamento (GERDES & NICHOLS, 2009). Para o caso de Sistema de Resfriamento de circulação fechada em lagoa, o mesmo princípio se aplica.

Observa-se neste caso a necessidade da boa qualidade da água para esses sistemas (GERDES & NICHOLS, 2009; AL-BASSAM & MAHESHWARI, 2011). Quanto maior a concentração de minerais e sedimentos nesses processos, maior será a água de purga, conseqüentemente, maior será a captação em corpos d'água.

Quando a disponibilidade de água é baixa, pode-se utilizar um sistema de resfriamento a seco, podendo ser direto ou indireto, sendo que em ambos os casos, é utilizada a transferência de calor por convecção para fornecer o resfriamento, eliminando perdas por evaporação (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2002; GERDES & NICHOLS, 2009; ARROYO, 2012; NRDC - *NATURAL RESOURCES DEFENSE COUNCIL*, 2014). Nos sistemas de resfriamento indireto, o vapor de exaustão da turbina entra nos tubos do condensador dentro da torre de resfriamento sendo resfriado pelo ar produzido de forma mecânica ou natural (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2002; GERDES & NICHOLS, 2009; ARROYO, 2012). Em um sistema direto, o vapor do processo passa por uma massa de ar que flui dentro do condensador, esse vapor é condensado e água retorna para o processo para ser reutilizada no ciclo de vapor d'água (ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, 2002; GERDES & NICHOLS, 2009; TURNPENNY *et al.*, 2010; ARROYO, 2012).

A NRDC- *Natural Resources Defense Council* (2014), *Electric Power Research Institute* (2002) e Chang *et al.* (2016) acrescentam os sistemas de resfriamento “híbrido” que incluem os componentes úmido e seco em um mesmo sistema podendo ser utilizados separadamente ou simultaneamente visando melhores performances. A Figura 4 apresenta alguns exemplos de sistemas de resfriamento e o Quadro 3 traz um resumo da relação de consumo e retirada de água nesses sistemas.

Figura 4: Exemplos de sistemas de resfriamento



Fonte: Traduzido de EPRI (2002). (a) Ciclo combinado (processo que combina duas ou mais turbinas operando com diferentes tipos de combustíveis) com circulação aberta; (b) Ciclo combinado com circulação fechada em torre úmida; (c) Ciclo combinado com circulação fechada em lagoa de resfriamento; (d) Ciclo combinado com circulação fechada de resfriamento a seco.

Quadro 3: Taxas de retirada e consumo de água por tipos comuns de usinas térmicas e sistemas de resfriamento

Tipo de planta e sistema de resfriamento	Retirada de água (gal*/MWh)	Consumo Típico de Água (gal/MWh)
Fóssil/biomassa/vapor a combustível, circulação aberta	20.000 - 50.000	~ 300
Fóssil/biomassa/vapor a combustível, lagoa de resfriamento	300 - 600	300 - 480
Fóssil/biomassa/vapor a combustível, torres de refrigeração	500 - 600	~ 480
Vapor nuclear, circulação aberta	25.000 - 60.000	~ 400
Vapor nuclear, lagoa de resfriamento	500 - 1100	400 - 720
Vapor nuclear, torres de resfriamento	800 - 1100	~ 720
Gás natural / óleo, ciclo combinado, resfriamento contínuo	7500 - 20.000	~ 100
Gás natural / óleo, ciclo combinado, torres de refrigeração	~ 230	~ 180
Gás natural/óleo, resfriamento à seco	~ 0	~ 0
Carvão/petróleo, torres de resfriamento de ciclo combinado	~ 380	~ 200

Fonte: Traduzido de EPRI (2002). * 1 galão americano equivale a aproximadamente 3,785 litros

Chang *et al.* (2016) e IEA - *International Energy Agency* (2016) relatam que nos últimos anos, quase 70% da eletricidade mundial é gerada por usinas termelétricas, resultando em uma enorme dependência dos recursos hídricos. Denooyer *et al.* (2016) distinguem em seus estudos que uma mudança de combustível do carvão para o gás natural convencional poderia reduzir 37% das retiradas de água anuais e 32% do consumo; e que a instalação de sistemas

de resfriamento em circuito fechado pode reduzir as retiradas anuais de água em 96%, no entanto, aumenta o consumo em 58%.

- **Carvão**

O uso da água para a produção de carvão é proveniente especialmente de atividades associadas à mineração, como por exemplo, tipo de mina (subterrâneas ou de superfície), profundidade, geologia e largura da camada de carvão e seu conteúdo energético (IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016). Conforme o Quadro 2, nas etapas de extração e processamento, o carvão consome em média 23 - 200 m³/Gwh e 64 - 870 m³/Gwh de água nos processos por superfície e subterrânea respectivamente.

Algumas minas precisam ser desidratadas antes de iniciar sua produção. Neste processo, caso seja utilizada água de reuso, o consumo de água doce necessário é reduzido, embora seja necessário o tratamento dessa água em função do seu alto teor de contaminação (IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2016). Dependendo da qualidade e do destino atribuído ao carvão, ele deve ser lavado para melhorar sua qualidade e eficiência no seu transporte e uso (IEA, 2016). Há preocupações sobre o impacto da mineração de carvão na qualidade da água em função do potencial de escoamento ou drenagem; derramamentos de tanques de decantação; descarga de água produzida; e contaminação de fontes de águas superficiais ou subterrâneas pelos rejeitos de minas (IEA, 2016).

- **Gás natural**

Para extração do gás natural não convencional (gás de xisto) é necessária uma técnica chamada de fraturamento hidráulico, também conhecido como "*fracking*", que consiste em extrair o gás a grandes profundidades abaixo da superfície da terra através da injeção de uma mistura de água, areia e reagentes químicos na rocha, no intuito de fraturá-la para liberar o gás (NAKANO *et al.*, 2012). Segundo o Quadro 2, a quantidade de água consumida na etapa de extração e processamento equivalem a 8 - 800 m³/Gwh, bem superior ao consumo na mesma etapa para gás natural convencional (4 - 100 m³/Gwh). De acordo com Hanlon *et al.* (2013), o método "*fracking*" requer aproximadamente 4,5 milhões de litros de água para perfurar e fraturar um poço profundo típico de gás.

A produção de *shale gás* nos Estados Unidos teve um grande aumento nos últimos anos, tornando - o um dos maiores produtores mundiais de gás natural (CHANG *et al.*, 2014). A China tem as maiores reservas de gás de xisto do mundo, em aproximadamente 31 trilhões metros cúbicos (m³), no entanto, a cota de consumo é de apenas 5% (CHANG *et al.*, 2014). A exploração do gás de xisto na China pode auxiliar na redução da dependência excessiva do país no uso do carvão, bem como na emissão de poluentes atmosféricos devido a sua combustão (TIAN, 2015; CHANG *et al.*, 2014).

O sistema energético da China é dominado pelo carvão, representando cerca de 70% do total de fornecimento de energia primária (XIANG *et al.*, 2016), e com relação às reservas hídricas, o país possui uma grave escassez de água (JIANG *et al.*, 2017). Embora a produção de gás de xisto possa ajudar a aliviar a pressão sobre o fornecimento global de energia, ainda existem controversas devido ao alto consumo de água, à possibilidade de contaminação do subsolo e do ambiente, e às emissões de gases do efeito estufa (GEE) associadas ao processo de fraturamento hidráulico, além de potenciais custos envolvidos na extração e constante inovação tecnológica (HANLON *et al.*, 2013; CHANG *et al.*, 2014). Importante ressaltar que a fonte de água a ser utilizada nesse tipo de processo de extração de gás pode ser proveniente de fonte salina, reduzindo a pressão nos recursos de água doce.

Chen *et al.* (2017) acrescenta o risco de contaminação do solo por águas de refluxos provenientes do processo de faturamento hidráulico, em função do alto teor de sal, metais (As, Se, Fe e Sr), sólidos dissolvidos e aditivos orgânicos. Segundo os autores, aproximadamente 10 - 70 % do fluido injetado retorna à superfície antes da recuperação do gás, essa água é denominada de água de refluxo, enquanto a água produzida é gerada durante a produção do gás. A gestão e eliminação das águas de refluxo e de produção representam um dos maiores desafios associadas ao desenvolvimento de petróleo e gás não convencional (KONDASH *et al.* 2017).

- **Combustíveis para transporte – Biocombustíveis e petróleo/derivados**

A utilização crescente de água também está presente na extração e conversão dos combustíveis para transporte (biocombustíveis, petróleo e seus derivados). A quantidade consumida depende das características geográficas, condições de reserva e a tecnologia adotada na extração (CHANG *et al.*, 2016). O Quadro 4 apresenta o consumo de água para a produção do biocombustíveis e petróleo para algumas regiões do mundo. Os valores apresentados no Quadro 4 representam estimativas complementares aos dados de consumo de água apontados no Quadro 1 para Biocombustíveis. Esses valores podem variar conforme o tipo de tecnologia adotada em cada sistema energético e também conforme característica de cada região.

Quadro 4: Consumo de água para produção de Biocombustíveis e petróleo

Biocombustível ^a	Biomassa seca (kg por kg de biocombustível)	Necessidade de água (L/Kg)
Milho - Etanol	2,72	2059,90
Trigo - Etanol	3,08	2884,21
Switchgrass (gramínea) - Etanol	3,35	3413,52
Sementes de canola - Biodiesel	2,53	4593,78
Petróleo	Água líquida consumida	Principais fatores que afetam o uso da água
Extração de petróleo ^b	10- 40 L/MWh	-
Refinaria de petróleo ^b	80-150 L/MWh	Tecnologia utilizada nos processos
Gasolina ^c (US convencional bruto)	3,4 – 6,6 gal/gal* de gasolina ^d	Idade do poço de petróleo, tecnologia de produção e grau de reciclagem da água.
Gasolina ^c (petróleo convencional saudita)	2,8 – 5,8 gal/gal* de gasolina ^d	Idade do poço de petróleo, tecnologia de produção e grau de reciclagem da água
Gasolina ^c (areias petrolíferas canadenses) ^e	2,6 - 6,2 gal/gal* de gasolina ^d	Formação geológica, tecnologia de produção

Fonte: Próprio autor com base nos dados disponíveis em Wu & Chiu (2011)^c; Dominguez-Faus *et al.* (2009)^b; Singh & Kumar (2011)^a. d - Em galões de água por galão de combustível especificado; e - Incluindo recuperação térmica, melhoramento e refinação. *1 galão americano equivale a aproximadamente 3,785 litros

Pode-se perceber que a produção de etanol por trigo possui uma maior demanda de água comparada à produção de etanol através do milho, sendo que a produção de etanol por Switchgrass (gramínea) apresenta uma demanda de água superior às duas mencionadas anteriormente. A irrigação das culturas é o fator mais limitante que afeta o consumo de água na produção do etanol, sendo esse consumo variável para cada região (zona climática), para cada cultura e tipo de solo. O uso médio de água nas usinas de etanol baixou de 5,8 gal/gal de etanol para 3,0 gal/gal de etanol nos últimos 10 anos (WU & CHIU, 2011). Estimativas do consumo de água para outras culturas energéticas podem ser melhor explanadas em Gerbens-Leenes *et al.* (2009); Lienden *et al.* (2010); Rulli *et al.* (2016); e Moioli *et al.* (2018).

Tem crescido significativamente o interesse pelo uso da biomassa como fonte de energia, principalmente em função da evolução tecnológica, estímulo do setor agrícola, mudanças climáticas e aumento da demanda por energia. Outros fatores que tem impulsionado, ao longo da história, o interesse pelos biocombustíveis são o aumento das importações de energia, preocupações sobre os suprimentos de petróleo, um maior reconhecimento das consequências ambientais relacionado ao uso dos combustíveis fósseis (HILL *et al.* 2006), além da influência da volatilização do preço do petróleo nos biocombustíveis.

Alguns países contribuem largamente para a produção de bioenergia, o Brasil produz 27% da cana de açúcar; os Estados Unidos têm quase metade da produção mundial de soja, 40% da produção de milho e um quarto da produção de sorgo; a China fornece 18% de todo o trigo, um terço do arroz e um quinto das culturas de batatas; metade da produção mundial de centeio ocorre na Rússia e Alemanha, enquanto que a Nigéria apresenta a maior contribuição da produção de mandioca; para outras culturas, como a beterraba sacarina e cevada, a produção é distribuída de forma mais uniforme entre os países (GERBENS-LEENES *et al.*, 2009). Carneiro (2015) apresenta em seus estudos uma projeção do Brasil para 2030 entre produção de etanol (cana-de-açúcar) e disponibilidade hídrica. Segundo a autora, a produção de etanol terá grandes reduções (19,01 milhões de hectares para 13,35 milhões) em situação de crise hídrica, tendendo a um aumento dos conflitos entre usuários de água, podendo ser revertida apenas se considerar melhorias na eficiência dos sistemas de irrigação.

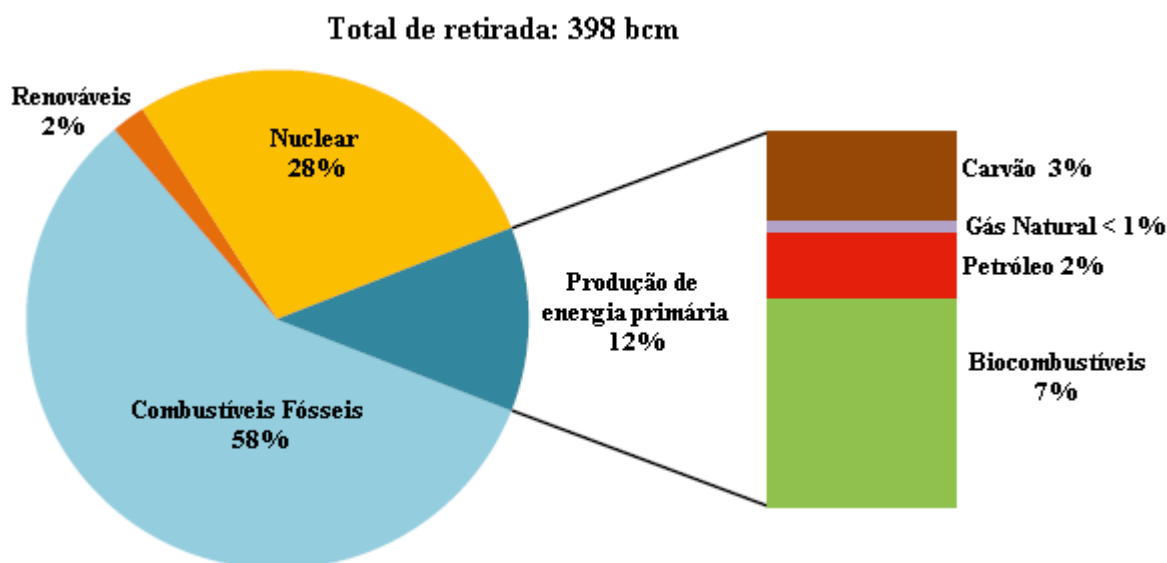
As eficiências do uso da terra e da água raramente têm sido levadas em consideração nas metas de produção dos biocombustíveis (ZHUANG *et al.*, 2013). Com uma estimativa do aumento do consumo de água na agricultura, apresentando atualmente a irrigação com 70% da demanda de água global (BOGARDI *et al.*, 2012; RINGLER *et al.*, 2013), a tendência é caminhar para uma competição cada vez maior entre segurança alimentar, segurança energética e hídrica. As características ideais para uma produção de biocombustíveis associado às condições climáticas locais e ao uso do solo, incluem: Alto rendimento (máxima produção de matéria seca por hectare); baixa entrada de energia para a produção; baixo custo; composição com menor contaminante; baixos requisitos de nutrientes e uso eficiente da água (MCKENDRY, 2002).

Wu & Chiu (2011) indicam que medidas de conservação para reduzir o consumo de água são necessárias para alcançar a produção sustentável de biocombustível, e para o petróleo, nas etapas de extração e processamento, o uso de reinjeção de águas produzidas e água salina reduzirá ainda mais o uso da água. De forma geral, em uma planta de produção de combustível, o consumo de água pode ser reduzido pelo aumento do uso de medidas como a reutilização do condensado de vapor, reciclagem da água tratada, e implementação de modificações no processo usando tecnologias comerciais existentes.

Quanto ao consumo de água nas etapas de processamento e extração do petróleo é altamente sensível à idade do poço, a tecnologia de recuperação empregada e ao grau de reciclagem e reutilização da água produzida. A recuperação primária de petróleo requer em média 0,2 galões de água por galão de petróleo bruto produzido (WU & CHIU, 2011). Nos Estados Unidos, a produção de petróleo depende muito da recuperação secundária via inundação de água. Essa tecnologia requer uma média de 8 galões de água por galão de petróleo bruto recuperado e, como resultado, responde por 80% da água injetada em poços terrestres para recuperação de petróleo (WU & CHIU, 2011). No entanto, como a água produzida fornece grande parte dessa água de injeção, com base na tecnologia, o uso líquido médio de água para a produção de petróleo bruto dos Estados Unidos varia de 2,1 a 5,4 galões por galão de petróleo bruto para as principais regiões produtoras (WU & CHIU, 2011).

A Figura 5 apresenta as retiradas de água no setor de energia para o ano de 2014. Observa-se que das tecnologias de energia levantadas, as energias renováveis, em especial a eólica, são as que possuem os menores consumos de água (Quadro 2, Figura 9), em todas as suas etapas de produção e distribuição, tanto as técnicas *onshore* quanto *offshore*. Enquanto a energia solar, a fotovoltaica consome em média 20 – 800 m³/Gwh, e a energia solar concentrada varia de 300 – 640 m³/Gwh (Quadro 2). Para a energia hidráulica, a etapa de extração e processamento possui baixos valores de consumo de água, no entanto, a etapa de produção e distribuição, existe uma dependência de grandes volumes de água para gerar a energia, mesmo o uso sendo caracterizado como não consuntivo.

Figura 5: Retiradas de água no setor de energia no ano de 2014



Fonte: Traduzido do IEA (2016). bcm = bilhões de metros cúbicos

Conforme a Figura 5, os combustíveis fósseis representam a energia com as maiores retiradas de água seguida pela nuclear e produção de energia primária. Na Figura 5, deve-se considerar energias renováveis a energia solar fotovoltaica, energia eólica, geotérmica e bioenergética (não foi considerada energia hidroelétrica); o consumo de água para produção primária foi utilizado às etapas de extração, processamento e transporte; as retiradas de água e o seu consumo para os biocombustíveis foram quantificados perante as relações com a irrigação e processamento da biomassa.

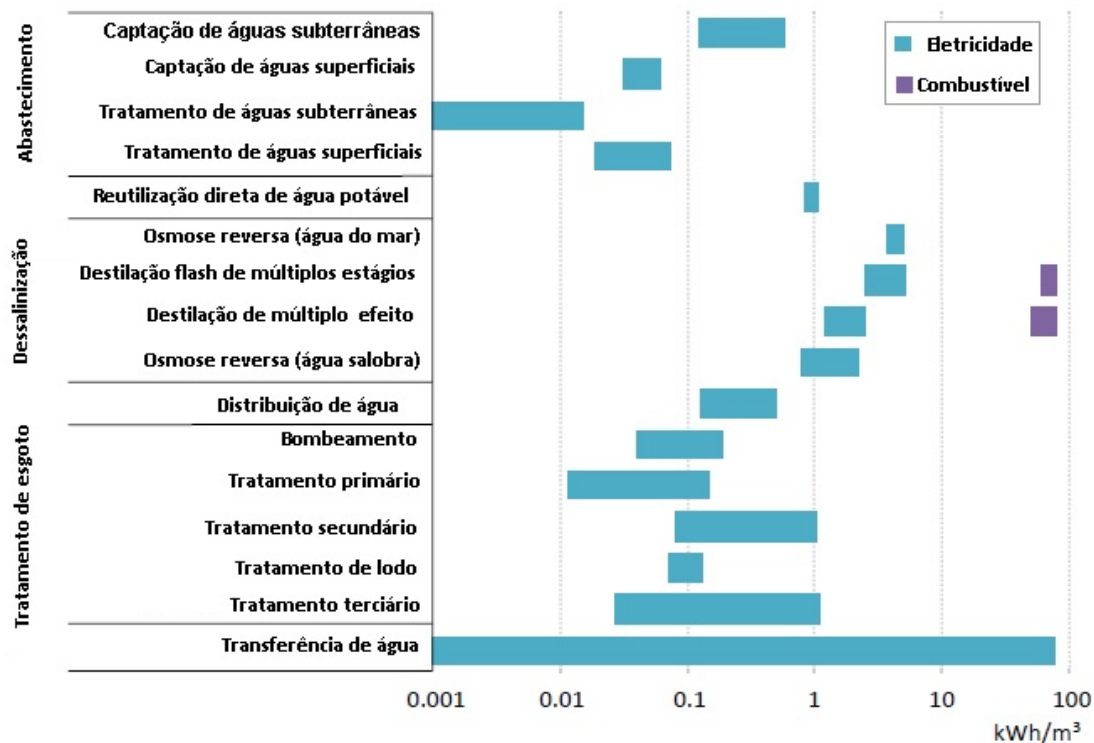
2.1.1.1. Consumo de energia no contexto do saneamento

Além das relações apontadas entre consumo de água nas tipologias energéticas, no contexto de água potável e saneamento, devem-se considerar as relações entre o consumo de energia nos processos de bombeamento, tratamento e distribuição da água e para coleta, tratamento e descarga de águas residuais.

Para Soares & Gonçalves (2017), a preocupação com o consumo de energia em sistemas de água e esgoto não era priorizado, porém, com o aumento das incertezas na disponibilidade desses recursos vinculada às mudanças climáticas, as inter-relações entre água-energia vêm se tornando foco tanto da literatura científica quanto dos gestores desses serviços. O surgimento do tema “nexus” é outro fator importante que vem desencadeando o aumento do interesse por essas inter-relações (WAKEEL *et al.*, 2016).

O consumo de energia nos serviços de água potável e saneamento (Figura 6) podem variar muito devido às diferenças nas dimensões dos sistemas; nos requisitos de bombeamento em função da topografia local; características da água bruta e da concentração das águas residuais; e do nível de tratamento, podendo ser um processo muito intensivo em energia, ou pouco expressivo (YOUNG, 2015).

Figura 6: Uso de energia para vários processos no setor de água



Fonte: Traduzido do IEA (2016)

No processo de abastecimento de água, a captação de águas subterrâneas remete o maior consumo de eletricidade comparada aos outros processos apresentados na Figura 6. Enquanto para etapa de tratamento, neste mesmo segmento, água superficial remete os maiores consumos de energia comparada ao tratamento de águas subterrâneas. Isso ocorre especialmente devido ao maior grau de poluição vinculado às águas superficiais.

Quanto ao processo de dessalinização, observa-se que todas as tecnologias listadas na Figura 6 possuem um alto consumo de energia, com destaque para a Osmose reversa, Destilação por múltiplos efeitos e Destilação flash de múltiplos estágios. Atualmente, a média mundial de consumo de eletricidade para dessalinização corresponde a 30 terawatts-hora (TWh), sendo que projeções apontam para 2040 um consumo estimado em 295 à 345 TWh dependendo do cenário (TERRAPON-PFAFF *et al.*, 2018).

Para o caso das tecnologias de tratamento de esgoto, segundo o IEA (2016), o tratamento secundário (processos biológicos para remover matéria orgânica dissolvida técnicas como um tanque de aeração, filtro de gotejamento e processo de lodo ativado, seguido por tanques de decantação) corresponde a 51% do consumo de energia; seguido de bombeamento com 16%, tratamento do lodo com 15%, tratamento primário (remoção de sólidos através de filtros, telas, tanques de sedimentação, aeração e tanques de flutuação) com 8%, e o tratamento terciário (tratamento avançado adicional para remover nutrientes, como nitrogênio, fósforo e sólidos suspensos através de tecnologias, incluindo areia de filtração ou filtração por membrana) com 10% do consumo de energia (IEA, 2016).

Apesar dos significativos valores no consumo de energia pelas tecnologias citadas, a transferência de água em larga escala entre bacias corresponde aos maiores consumos de eletricidade. Estima-se que cerca de 70 TWh de eletricidade sejam usados para este segmento (IEA, 2016). Um desses projetos é o de Transferência de Água Sul-Norte da China. Entre 2013 à 2017, um total de 2,35 bilhões de kWh de energia foram consumidos para transferir 15,5 bilhões de m³ de água gerada por um sistema de estações de bombeamento em grande escala (CHEN *et al.*, 2019). Essa produção de energia exigiu 7,4 milhões de m³ de água virtual (quantidade de água consumida indiretamente na produção de bens e serviços) e emitiu 1,93 MtCO₂ de carbono (CHEN *et al.*, 2019).

Diante disso, apresenta-se uma necessidade de considerar as inter-relações entre água-energia no planejamento, nos projetos e ações de ambos os setores. Sabe-se que o aumento na demanda de energia tende a impactar no setor de água, especialmente em regiões com alto estresse hídrico. Terrapon-Pfaff *et al.* (2018) coloca que a redução na disponibilidade hídrica, tanto superficial quanto subterrânea, incentiva o uso de tecnologias de dessalinização e o reuso de água, especialmente nas áreas do Oriente Médio, Leste e Norte da África.

A IEA (2016) e Copeland & Carter (2017) apresentam algumas estatísticas das relações entre consumo de energia no setor de água:

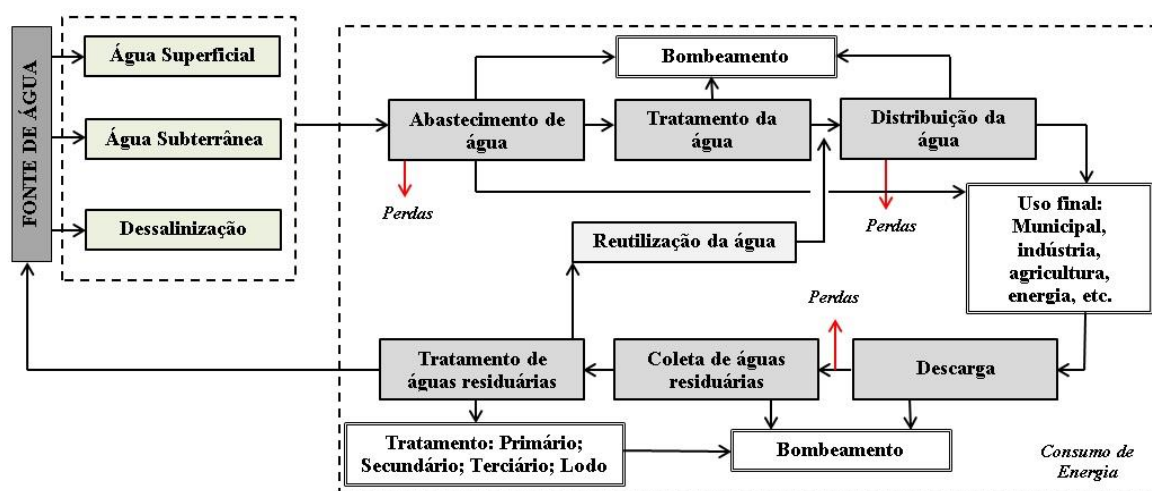
- Cerca de 120 milhões de toneladas de óleo equivalente (Mtep) de energia foi utilizado em todo o mundo no setor de água em 2014, quase equivalente a toda a energia da Austrália. Cerca de 60% dessa energia é consumida na forma de eletricidade, correspondendo a uma demanda global de cerca de 820 TWh (ou 4% do total consumo de eletricidade), que é quase equivalente ao atual consumo de eletricidade na Rússia.
- Da eletricidade consumida, a maior quantidade é usada para a extração de água subterrânea e águas superficiais (cerca de 40%), seguidas de tratamento de águas residuais com 25%. Nos países desenvolvidos, a maior parcela do consumo de eletricidade relacionado à água (42%) é usada para o tratamento de águas residuais. Nos países em desenvolvimento e emergentes, o uso de eletricidade para o tratamento de águas residuais atualmente desempenha um papel menor, já que uma menor parcela de águas residuais é coletada e tratada.
- Cerca de 20% da eletricidade é usada para distribuição de água aos consumidores. Em um nível global, a dessalinização representa apenas 5% do consumo de eletricidade do setor de água, mas essa participação é muito maior nos países do norte da África e do Oriente Médio. O restante do consumo de eletricidade é contabilizado por transferências de água entre bacias em larga escala, tratamento de água doce e reutilização de água.
- Os Estados Unidos consomem mais eletricidade no setor de água do que qualquer outra região ou país, aproximadamente 40% do consumo de eletricidade do setor de água vai para o tratamento de águas residuais. Existem aproximadamente 15.000 estações de tratamento de águas residuais nos Estados Unidos. A aeração, o bombeamento e o processamento de sólidos de águas residuais são responsáveis pela maior parte da eletricidade usada no tratamento.
- Na China, mais de 15% das necessidades globais de eletricidade corresponde ao setor de água. O Oriente Médio, onde o setor de água representa 9% do consumo de eletricidade, é a única região em que a dessalinização responde por mais de um quarto do consumo de energia relacionado à água. Na Índia, a extração de água subterrânea é responsável por

quase 60% da eletricidade consumida pelo setor de água, representando a maior consumidora desta fonte de água a nível global.

No Brasil, a produção e o abastecimento de água necessitam em média de $0,862 \pm 0,046$ kW/m³, sendo que os sistemas de abastecimento representam cerca de 1,9% do consumo total de eletricidade no Brasil, tendo como referência os dados de 2012 (VILANOVA & BALESTIERI, 2015). Segundo Soares & Gonçalves (2017), as perdas de água correspondem aos maiores gastos do sistema de abastecimento do Brasil; desperdiçando em média 27% de água e energia (VILANOVA & BALESTIERI, 2015).

A Figura 7 apresenta um resumo do consumo de energia no setor de saneamento. De forma geral, energia é necessária para extrair água de lagos, rios, oceanos e bombear água subterrânea dos aquíferos através de canais e tubulações até estações de tratamento ou diretamente para pontos de consumo. O bombeamento de água subterrânea, conforme ilustrado na Figura 7, é aproximadamente sete vezes maior que extração de águas superficiais (IEA, 2016). A distância das tubulações e a topografia local associado aos sistemas elevatórios implicam na quantidade de energia consumida. Além disso, deve-se considerar ainda o desperdício de energia devido às perdas nos processos de abastecimento e distribuição.

Figura 7: Processos do setor de saneamento



Fonte: Adaptado de Sanders & Webber (2012) e IEA (2016)

O consumo de energia no setor de saneamento pode ser reduzido caso se trabalhe com inovações tecnológicas (IEA, 2016; SANDERS & WEBBER, 2012); eficiência energética; capacitações de associações de usuários de água (desenvolvimento de capacidade, sustentabilidade financeira); tecnologias de coleta de águas pluviais; eficiência operacional do tratamento de águas residuais; incentivos para economia circular; reutilização de águas residuais tratadas podendo se tornar um recurso para outros usos como agricultura; implantação de dispositivos de controle de perdas de água nos sistemas; investimento e incentivo para aumentar o tratamento dos esgotos associado à produção de biogás (WAKEEL *et al.*, 2016, VILANOVA & BALESTIERI, 2015). O IEA (2016) acrescenta ainda gerenciamento de pressão, controle de vazamentos e substituição de infraestruturas deficitárias para redução de perdas de água nesses sistemas.

Em alguns países como México, Jordânia, Peru e Tailândia tem atuado o projeto *Water and Wastewater Companies for Climate Mitigation* (WaCCliM) nos setores de água potável e

saneamento, com o objetivo de reduzir emissões de gases do efeito estufa provenientes desses setores. Esse projeto tem investido em medidas de longo prazo em eficiência energética, modernização dos modelos de água potável e esgoto com instalação de sistemas de cogeração e bombas energeticamente eficientes (WACCLIM, 2019).

2.1.2 Água - Agricultura

A água é utilizada na agricultura para suprir as necessidades hídricas das culturas, sendo aplicada através de um sistema de irrigação, que pode variar de acordo com o tipo de método a ser utilizado e o manejo aplicado (SILVA, 2011). Tem se tornado cada vez mais preciso compreender as relações entre produção agrícola e os insumos requeridos durante todo seu ciclo de vida visando propor sistemas produtivos mais eficientes.

Christofidis (2006) apresenta que no mundo, cerca de 1,532 bilhão de hectares de área está voltada para produção agrícola, sendo 278 milhões de solos sob a infraestrutura hídrica de irrigação. A produção de culturas para fins não alimentares como animais, biocombustíveis e produtos industriais afetam a quantidade de alimentos disponíveis no mundo (FOLEY *et al.*, 2011). Globalmente, apenas 62 % da produção agrícola são alocados para alimentação humana, contra 35 % para alimentação animal e 3% para bioenergia, sementes e outros produtos industriais (FOLEY *et al.*, 2011). A América do Norte e a Europa dedicam apenas 40 % de sua produção para alimentos, enquanto a África e a Ásia destinam mais de 80 % de sua área de cultivo para produção de alimentos, os Estados Unidos dedicam menos de 25 % (FOLEY *et al.*, 2011).

Ao longo dos anos, está se tornando cada vez mais claro que a produção agrícola de alimentos está experimentando uma maior competição por terra, água e energia e passando por maiores pressões em conter os efeitos negativos sobre o meio ambiente (GODFRAY *et al.* 2010; CHANG *et al.*, 2016).

Um fator que tem tomado espaço nas políticas voltadas para agricultura, pecuária e abastecimento é o consumo de água e terra nos cultivos que resultam em produtos destinados para rações animais, e atividade pecuária que, indiretamente produz alimentos que atendem a dieta alimentar humana e são responsáveis por dois terços dos solos cultivados, tendo apenas um terço do solo para produção de alimentos vegetais (CHRISTOFIDIS, 2006). Mekonnen & Hoekstra, (2012) fornecem uma descrição abrangente da pegada hídrica de produtos animais, ilustradas no Quadro 5.

Conforme pode ser observado no Quadro 5, em termos de pegada hídrica, o gado de corte tem a maior contribuição (33%) para a pegada hídrica global da produção animal, seguido pelo gado leiteiro (19%), suínos (19%) e frangos de corte (11%). Pegada hídrica “*water footprint*” normalmente é expresso em termos volumétricos (litros ou m³ de água) e representa um indicador multidimensional que analisa o uso direto e indireto de água na produção de bens e serviços (CHAPAGAIN & TICKNER, 2012; HOEKSTRA *et al.*, 2011). “O método separa e classifica a água de acordo com sua fonte e impacto: “água verde” (água da chuva), “água azul” (água reunida em lagos, reservatórios, rios e aquíferos) e “água cinzenta” (águas residuais) (HOEKSTRA *et al.*, 2011; MEKONNEN & HOEKSTRA, 2014).

Quadro 5: Média anual da pegada hídrica de um animal, por categoria (1996-2005)

Categoria animal	Pegada Hídrica de animais vivos no fim do tempo de vida (m ³ / ton)	Peso médio do animal no final do tempo de vida (kg)	Média da pegada hídrica no fim do tempo de vida (m ³ / animal) 1	Tempo médio de vida (y)	Média anual da pegada hídrica de um animal (m ³ /y/ animal) 2	Pegada hídrica anual da categoria animal (Gm ³ / y)	% Total da pegada hídrica (WF)
Gado de corte	7477	253	1889	3,0	630	798	33
Gado leiteiro	-	-	20558	10	2056	469	19
Suíños	3831	102	390	0,75	520	458	19
Frangos de corte	3364	1,90	6	0,25	26	255	11
Cavalos	40612	473	19189	12	1599	180	7
Galinhas			47	1,4	33	167	7
Ovelhas	4519	31,3	141	2,1	68	71	3
Cabras	3079	24,6	76	2,3	32	24	1
TOTAL						2422	100

Fonte: Traduzido de Mekonnen & Hoekstra (2012). 1 - Calculado pela multiplicação da pegada hídrica do animal vivo no final da sua vida útil em m³/ tonelada e do peso médio do animal. 2 - Calculado dividindo a pegada média de água do animal no final do seu tempo de vida pelo tempo de vida médio.

Mekonnen & Hoekstra (2014) desenvolveram um estudo para encontrar valores globais de referência para a pegada hídrica de 124 culturas (cevada, algodão, milho, batata, arroz, sorgo, soja, cana-de-açúcar, trigo, dentre outros). Segundo os autores, se reduzisse a pegada hídrica verde e azul da produção agrícola em todo o mundo para um nível de 25%, a economia global de água na produção agrícola seria de 39%, caso, o percentual fosse de 10%, a economia global de água nas produções agrícolas seria de 52%. O Quadro 6 complementa as informações do Quadro 5 apontando uma relação da pegada hídrica de alguns produtos de origem vegetal e animal.

Quadro 6: A pegada hídrica de alguns produtos alimentares selecionados de origem vegetal e animal

Item alimento	Pegada hídrica por tonelada (m ³ / ton)				Conteúdo nutricional			Pegada hídrica por unidade de valor nutricional		
	Verde	Azul	Cinza	Total	Calorias (kcal/kg)	Proteína (g/kg)	Gordura (g/kg)	Calorias (litro / kcal)	Proteína (litro/g de proteína)	Gordura (litro/g de gordura)
Culturas de açúcar	130	52	15	197	285	0	0	0,69	0	0
Vegetais	194	43	85	322	240	12	2.1	1,34	26	154
Raízes ricas em amido	327	16	43	387	827	13	1.7	0,47	31	226
Frutas	726	147	89	962	460	5.3	2.8	2,09	180	348
Cereais	1232	228	184	1644	3208	80	15	0,51	21	112
Culturas oleaginosas	2023	220	121	2364	2908	146	209	0,81	16	11
Nozes	7016	1367	680	9063	2500	65	193	3,63	139	47

Quadro 6: Continuação

Item alimento	Pegada hídrica por tonelada (m ³ /ton)				Conteúdo nutricional			Pegada hídrica por unidade de valor nutricional		
	Verde	Azul	Cinza	Total	Calorias (kcal /kg)	Proteína (g /kg)	Gordura (g / kg)	Calorias (litro / kcal)	Proteína (litro/g de proteína)	Gordura (litro/g de gordura)
Leite	863	86	72	1020	560	33	31	1,82	31	33
Ovo	2592	244	429	3265	1425	111	100	2,29	29	33
Carne de frango	3545	313	467	4325	1440	127	100	3	34	43
Manteiga	4695	465	393	5553	7692	0	872	0,72	0	6,4
Carne de porco	4907	459	622	5988	2786	105	259	2,15	57	23
Carne de ovino / caprino	8253	457	53	8763	2059	139	163	4,29	63	54
Carne de gado	14414	550	451	15415	1513	138	101	10,19	112	153

Fonte: Traduzido de Mekonnen & Hoekstra (2012)

Pode-se perceber a partir do Quadro 6 que os produtos animais possuem uma maior pegada hídrica por tonelada de produto comparada aos vegetais, raízes, culturas do açúcar e cereais. As nozes possuem um grande destaque na pegada hídrica (9063 m³/ton), ultrapassando a produção de carne de porco (5988 m³/ton) e carne de frango (4325 m³/ton). Dentro da própria produção animal, a carne de gado é a que possui maior pegada hídrica (15415 m³/ton), sendo o consumo de água verde (14414 m³/ton) o maior responsável por esse ranque.

Considerando diferentes sistemas de produção e composição da ração por tipo de animal, Mekonnen & Hoekstra (2012) apontam que: Quase um terço da pegada hídrica total da agricultura no mundo está relacionado com a produção de produtos animais, sendo maior do que a pegada hídrica de produtos vegetais com valor nutricional equivalente; os produtos de origem animal dos sistemas industriais geralmente consomem e poluem mais recursos hídricos terrestres e superficiais do que os produtos animais provenientes de pastagens ou de sistemas mistos; o aumento do consumo mundial de carne e a intensificação dos sistemas de produção animal irão colocar maior pressão sobre os recursos de água doce global nas próximas décadas (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2010; MEKONNEN & HOEKSTRA, 2012; CHAPAGAIN & TICKNER 2012; ZHANG, 2013). Por exemplo, a produção de um quilograma de trigo requer em média a utilização de 1300 kg de água; para produzir 1 kg de carne bovina são necessários 10.000 - 20.000 kg de água (ZHANG, 2013; WEF, 2011).

Logo, dietas à base de carne têm uma pegada hídrica maior em comparação com uma dieta vegetariana, isso pôde ser exibido nos resultados dos estudos de Mekonnen & Hoekstra (2012) onde foi analisada a dieta dos cidadãos dentro dos Estados Unidos para determinar o efeito de sua composição na pegada hídrica. A carne contribui 37% para a pegada hídrica de um americano médio; substituir toda a carne por uma quantidade equivalente de produtos vegetais, tais como legumes e nozes resultarão em uma redução de 30% da pegada hídrica (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2012). Bach *et al* (2012) ratifica que as escolhas que as pessoas fazem sobre os alimentos que consomem, estão intimamente ligadas às mudanças

demográficas, ao estilo de vida e ao crescimento econômico, ambos os aspectos influenciam na demanda de água e energia.

A agricultura mundial precisa alimentar uma população projetada de mais de 9 bilhões de pessoas estimada para 2050, cerca de 2 bilhões a mais que hoje (FAO, 2012b). A maior parte do crescimento populacional ocorrerá em países onde a fome e a degradação de recursos naturais já são abundantes. Os sistemas de produção agrícola e pecuária devem, por conseguinte, tornar-se necessidades crescentes (FAO, 2012b).

À medida que a concorrência, conflitos, escassez, desperdício, uso excessivo e degradação dos recursos hídricos crescem, a agricultura pode ser percebida como a válvula de segurança do sistema (GWP, 2012). A agricultura não é apenas o maior consumidor de água do mundo em termos de volume, é também um usuário de água de baixo valor, baixa eficiência e altamente subsidiado (GWP, 2012). Esses fatos nos levam a repensar as implicações econômicas, sociais e ambientais do uso da água na agricultura. Atender à crescente demanda de alimentos, rações e fibras, ao mesmo tempo em que aumentam os rendimentos dos agricultores, reduzindo a pobreza e protegendo o meio ambiente, tudo a partir de uma base cada vez mais restrita de recursos hídricos, é um grande desafio para a agricultura (GWP, 2012).

Para a FAO (2011), as maiores dificuldades que o mundo está enfrentando no momento estão relacionados com o desenvolvimento de sistemas alimentares globais que emitem menores GEE, desfrutem de um suprimento seguro de energia e possam responder à flutuação dos seus preços e, ao mesmo tempo, alcance a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável.

Segundo a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável (UNITED NATIONS, 2015), até 2030, deve-se:

- Dobrar a produtividade agrícola e a renda dos pequenos produtores de alimentos, particularmente das mulheres, povos indígenas, agricultores familiares, pastores e pescadores, inclusive por meio do acesso seguro e igual a terra, recursos produtivos, insumos, conhecimento, serviços financeiros, mercados e oportunidades de agregação de valor e de emprego em diferentes áreas.
- Garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção;
- Auxiliar na manutenção dos ecossistemas, fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas (secas, inundações, etc.) e melhorando progressivamente a qualidade do solo (UNITED NATIONS, 2015).

Para alcance dos objetivos do desenvolvimento sustentável, no âmbito das relações de segurança alimentar, deverá ser definido um conjunto de alternativas viáveis de serem implementadas dentro do contexto da agricultura visando minimizar o consumo dos recursos e de insumos químicos, buscar eficiência na produção, melhorar o manejo do solo e reduzir os impactos nos ecossistemas. Para qualquer alternativa levantada, deverá se ter investimento e diálogo entre um conjunto de atores de diferentes interesses através de um processo político. A implementação e sucesso dessas alternativas irão variar muito de região para região conforme seu modelo político econômico. Logo, a depender da prioridade estipulada pelo governo e do nível de desenvolvimento do país, os desafios que envolvem sua implementação tendem a ter diferentes intensidades.

A Food And Agriculture Organization Of The United Nations (FAO) traz algumas ações para gestão integrada são necessárias, podendo citar (FAO 2012b; FAO, 2013; FAO, 2017) identificação de soluções sinérgicas e novos regulamentos para gerenciar riscos e oportunidades; gerenciar os objetivos e interesses de diferentes usuários de recursos naturais, mantendo a integridade dos ecossistemas; modernizar os sistemas de irrigação em grande escala (auditoria e análise da gestão da irrigação e avaliação das opções para sua modernização); auxiliar em processos de capacitações; promover as políticas agroambientais e promover a reutilização da água na agricultura.

Singh *et al.* (2010) destacam que em período de crise, implementar estratégias para reduzir as perdas de água na irrigação e aumentar a produtividade da cultura merece uma atenção especial. Para Gumbo & Van Der Zaag, (2002) e Da-ping *et al.*, (2011), em épocas de escassez de água, a solução não deve ser limitada apenas na oferta de água, mas também, considerar opções que envolvem a gestão da demanda, buscar eficiência nos usos da água, através da aplicação de ações estruturais (como minimizar perdas de água, reuso, reciclagem) e de ações não estruturantes (por exemplo, campanhas educativas, tarifas de água). A gestão da demanda de água é um importante conceito que deve ser utilizado na gestão integrada dos recursos hídricos (GUMBO & VAN DER ZAAG, 2002; CHEN *et al.*, 2005; WINMORE, 2016).

Mekonnen & Hoekstra (2014) apontam algumas tecnologias e práticas para reduzir a pegada hídrica na produção agrícola:

- O manejo de nutrientes do solo (otimização da rotação de culturas, uso de resíduos de culturas, controle da erosão, preparo adequado do solo, aplicação adequada de adubo natural, como esterco ou fertilizante artificial);
- Irrigação de precisão: sincronização da aplicação da água com a demanda de água da cultura;
- Controle de plantas daninhas e pragas (através de rotação de culturas, preparo adequado do solo, controle biológico de pragas);
- Reprodução de variedades de culturas superiores com maior rendimento e melhor resistência à doença;
- Redução da evapotranspiração: Espaçamento e orientação da planta; uso de resíduos de culturas e cobertura para diminuir a evaporação da água do solo e melhorar a reciclagem de nutrientes; técnicas de irrigação melhoradas (irrigação por gotejamento, irrigação no subsolo); controle efetivo de ervas daninha para reduzir a sua transpiração; melhorar o uso eficaz da precipitação.

Paudel *et al.* (2016) relatam que as secas recorrentes dos últimos anos, intrusões salinas em aquíferos e a escassez de água doce tem pressionado vários países a adotarem o reuso como alternativa para a produção agrícola e utilizar sistemas de irrigação mais eficientes, como o gotejamento, que utiliza até 70% menos água em comparação com um sistema de irrigação por inundação.

Algumas destas alternativas vêm sendo praticadas em alguns países. Na China, a escassez hídrica tem levado aos gestores a tomar decisões com relação às alternativas mais sustentáveis de irrigação, uma vez que 90% do uso da água é consumido pelo setor agrícola (MOLI *et al.*, 2016).

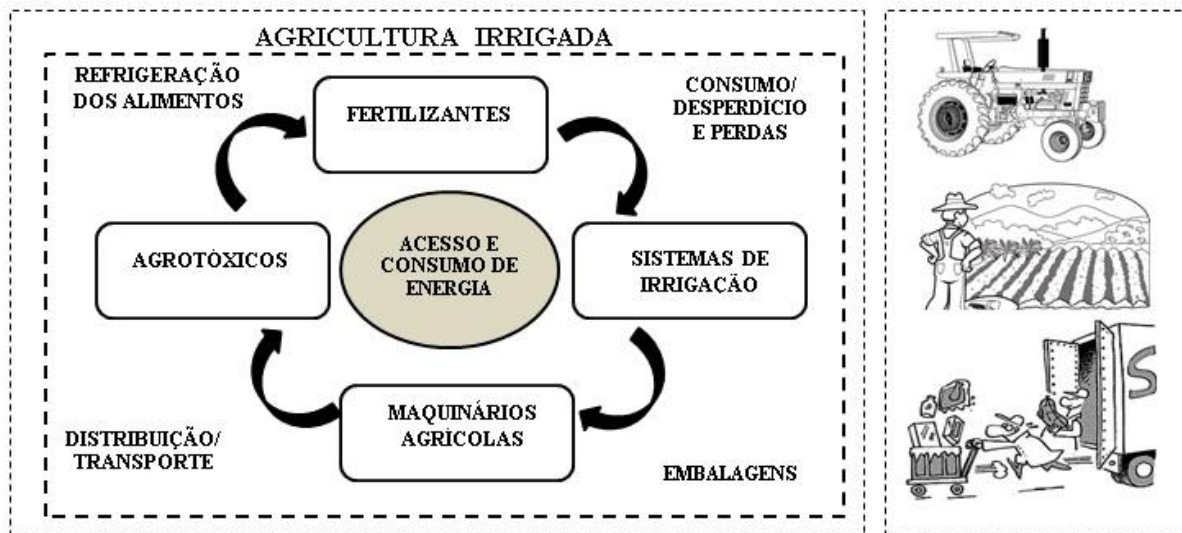
Israel, mesmo sendo um país semiárido com limitados recursos de água doce, possui um grande crescimento social e econômico, com destaque para a produção agrícola. A política de Israel para atender a crescente demanda por água concentra-se na combinação de estratégias no âmbito legislativo, institucional, econômico e tecnológico que engloba: a reutilização da maior parte dos efluentes do esgoto; melhoria da eficiência do uso da água na agricultura e na indústria; utilização de forma integrada os recursos hídricos superficiais e subterrâneos; dessalinização de água salobra; e políticas de tarifação de água (ARLOSOROFF, 2007).

No Brasil, a escassez hídrica que tradicionalmente atingia a região nordeste, nos últimos anos vem passando por sucessivas crises hídricas que abrangeu outras regiões como o Sudeste, onde a população não estava habituada com manejos de conservação do solo e aproveitamento de água da chuva, além da grande dependência das fontes hidrelétricas (ALMEIRA & BENASI, 2015). A partir disso, o país foi direcionado para à busca de alternativas (por exemplo, gestão de demanda, fomento de políticas públicas, incentivo para sistemas de captação da água da chuva, análises da governança, dentre outros) que minimizassem os efeitos da crise hídrica, que além de impactar o setor elétrico, também interferiu fortemente o setor agrícola.

2.1.3 Energia - Agricultura

A utilização de energia nos sistemas alimentares está relacionada com toda sua cadeia de produção, armazenamento, distribuição e consumo (CANNING *et al.*, 2010), conforme pode ser visualizado na Figura 8. Na produção agrícola, a energia é um requisito essencial e varia de acordo com a fonte de água (superficial e subterrâneo) para o bombeamento das culturas, com o tipo de sistema de irrigação (LAWFORD *et al.*, 2013) e com o transporte do produto até o seu destino final. O setor de alimentos representa cerca de 30% do consumo total de energia do mundo (FAO, 2011) e o setor de transporte representa sua maior parcela (URBANIEC *et al.*, 2017).

Figura 8: Relação entre Energia - Agricultura



Fonte: Próprio autor

Como pode ser observado, a eletricidade é utilizada para o processamento, refrigeração e embalagens dos produtos agrícolas; uma variedade de combustíveis é usada para preparar os alimentos; na cadeia de fabricação dos agrotóxicos e fertilizantes é utilizado energia, em

especial o gás natural; os sistemas agroalimentares não só necessitam de energia, como também podem produzir energia; uma variedade de combustíveis é usada para preparar os alimentos e mais de um terço dos alimentos que são produzidos é perdido ou desperdiçado, e com ele, cerca de 38% da energia consumida na cadeia agroalimentar (FAO, 2011; FAO, 2012a). Além dos fatores apontados, deve-se enfatizar ainda o sistema de irrigação utilizado e o desenvolvimento das etapas da produção agrícola, incluindo o tipo de combustível utilizado nos maquinários agrícolas.

Ahmad & Khan (2016) apresentam que os sistemas modernos de irrigação são, por um lado, altamente eficientes em termos de consumo de água, mas, por outro lado, requerem um elevado consumo de energia, como por exemplo, o sistema de irrigação por gotejamento que é eficiente no requerimento de água para as culturas, no entanto, necessita de um alto consumo de energia para bombeamento. No intuito de resolver este problema, alguns países têm avançado muito na utilização de energia solar nos sistemas de bombeamento para a irrigação. Harishankar *et al.* (2014) apontam alguns benefícios para os governos e para os agricultores: Para o governo, representa uma menor contribuição para a crise energética; para os agricultores, representa redução do desperdício, automatização do sistema, ganhos econômicos, podendo vender o excedente gerado. O Quadro 7 apresenta uma relação das entradas de energia para a produção agrícola.

Quadro 7: Valores equivalentes de energia para diferentes entradas da produção agrícola

ENTRADA	SUBTIPO	UNIDADE	ENERGIA EQUIVALENTE (KWh)
Trabalho humano	-	h	0,6
Diesel		L	10,7
Lubrificantes		L	10,8
Máquinas agrícolas (trator)		h	161
Eletricidade		kWh	1,0
Fertilizante	Nitrogênio	kg	18,4
	Fósforo	kg	3,5
	Potássio	kg	3,1
	Estrume	ton	84,3
Químicos	Herbicidas	kg	66,7
	Fungicidas	kg	28,6
	Pesticidas	kg	55,6
Irrigação (água)		m ³	0,2

Fonte: Traduzido de Ahmad & Khan (2016)

Observa-se que diferentes entradas nas operações agrícolas contêm diferentes níveis de energia intrínseca, seja ela de forma direta ou indireta (aplicação de fertilizantes e químicos). Dos fertilizantes apresentados no Quadro 7, o de Nitrogênio (18,4 kWh) e estrume (84,3 kWh) são os que apresentam os maiores valores de energia equivalente e a utilização de maquinários agrícolas eleva o consumo de energia na produção. Existem vários estudos na literatura que apontam alternativa para redução do consumo de energia na produção agrícola para diferentes métodos de irrigação. Dentre esses, destacam-se Nerys *et al.* (2007) que descreve a economia de energia elétrica na automatização do controle da pressão em sistemas de irrigação com pivô central, baseada no acionamento do conjunto motor-bomba por conversor de frequência; e Marcolin & Robalina (2002) que obteve uma economia de 29% da energia elétrica adequando as estações de bombeamento de lavouras de arroz irrigado e uma redução das perdas de carga de 41%, com a substituição das atuais motobombas por outras com rendimentos mínimos de 75%.

Além de analisar toda cadeia da produção agrícola, destaca-se ainda a relação intrínseca do preço da energia nos movimentos dos preços dos alimentos como pode ser observado na Figura 9 (RINGLER *et al.*, 2013; BAFFES & DENNIS, 2013). Segundo os autores, a agricultura está se tornando cada vez mais dependente de fertilizantes, máquinas e de bombeamento para fontes de água subterrânea, além de considerar as crescentes monoculturas para produção de biocombustíveis, o que tem levado a uma competição direta por terra, água e energia em vários países. A dependência energética em toda a cadeia alimentar levanta preocupações sobre o impacto dos preços elevados e voláteis da energia sobre o preço dos alimentos (CANNING *et al.*, 2010).

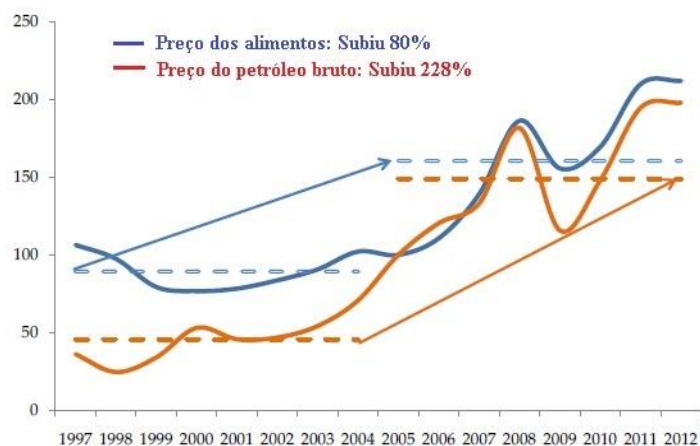
Figura 9: Relações entre preço dos alimentos com o preço da energia



Fonte: Traduzido de Ringler *et al.* (2013) e Bazilian *et al.* (2011)

O aumento dos preços mundiais do petróleo, aumentam os custos de produção e transporte dos alimentos (Figura 10). Os estudos têm estabelecido que a energia foi um dos principais fatores que causaram os preços dos alimentos a crescer aos níveis mais altos em quase 50 anos (FAO, 2012a). Baffes & Dennis (2013) apontam que um aumento de 10% no preço do petróleo está associado a um aumento de 3% nos preços dos alimentos.

Figura 10: Índices dos preços dos alimentos e do petróleo bruto (%)



Fonte: Traduzido de Baffes & Dennis (2013)

Na visão da FAO (2012a), um setor de alimentos com menor dependência dos combustíveis fósseis poderia ajudar a estabilizar os preços dos alimentos para os consumidores e a reduzir os riscos financeiros para os produtores de alimentos e outros envolvidos na cadeia de abastecimento alimentar.

2.2 Impactos dos segmentos de agricultura, energia e água nos ecossistemas

A instalação e o desenvolvimento de atividades econômicas implicam instantaneamente na produção de resíduos (SOUZA, 2009). Nas últimas décadas, tem se tornado crescente a preocupação com os efeitos dessas atividades no meio ambiente (COLLISCHONN *et al.*, 2005). Os problemas relacionados à poluição tem impactado toda sociedade interferindo na disponibilidade dos recursos naturais, manifestando moléstias nos seres vivos e gerando custos de tratamento para reverter o quadro de degradação ambiental.

A poluição é um reflexo do modelo político e do modelo de desenvolvimento econômico praticado em cada país. Independente da escala territorial de seu alcance, a decorrência dos impactos está distribuída em três ambientes: no ar devido às emissões de gases; no solo em função da sua contaminação e do desencadeamento de processos erosivos; e na água devido ao despejo de efluentes, deteriorando sua qualidade.

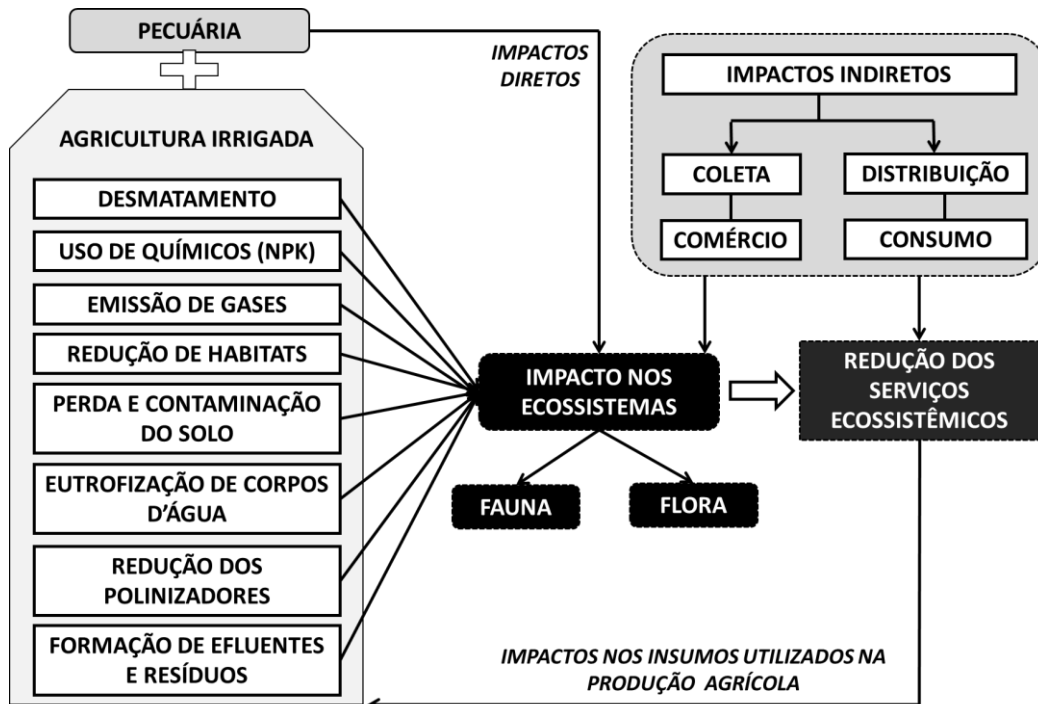
Neste sentido, o ecossistema é visto como agente receptor dos impactos promovidos pelo desenvolvimento de atividades econômicas, e também como provedor dos serviços ecossistêmicos que mantem o funcionamento de todos os recursos necessários para manutenção da própria vida terrestre (KARABULUT *et al.*, 2016; BELL *et al.*, 2016). Considerando essas relações, neste item serão abordados os principais impactos promovidos pelos segmentos de agricultura, energia e água nos ecossistemas.

2.2.1 Agricultura

A agricultura é responsável por 30 a 35% das emissões globais de gases de efeito estufa, em grande parte devido ao desmatamento tropical, emissões de metano provenientes da pecuária e da cultura do óxido de carbono de solos fertilizados (FOLEY *et al.*, 2011; FAO, 2011). Embora a abordagem do nexos tenha dado maior destaque no contexto da segurança humana, estabilidade política e crescimento econômico, estudos estão demonstrando os benefícios dessa abordagem sob uma perspectiva do valor dos ecossistemas, suas funções e seus serviços na água, na energia e na produção de alimentos, como esses serviços auxiliam no desenvolvimento e manutenção dos demais sistemas, incluindo a agricultura (RASUL, 2014; BELL *et al.*, 2016). A Figura 11 apresenta alguns impactos diretos e indiretos associados com a produção agrícola.

Observa-se que os impactos diretos estão relacionados com as etapas da produção: cultivo, sistema de irrigação, utilização de fertilizantes e agrotóxicos, maquinários agrícolas, manejo do solo, dentre outros levantados. Já os impactos indiretos estão direcionados nas etapas após a produção que envolve a coleta, armazenamento, distribuição, comercialização e consumo dos produtos gerados. Ambos impactos interferem na biota e no bioma em uma escala, local, regional, nacional, global, a depender do grau da área de abrangência e do entorno do impacto. Por exemplo, a eutrofização dos corpos de água em função do excesso de carreamento de substâncias presentes nos insumos utilizados decorrente da produção agrícola pode alcançar dimensões nacionais a depender da concentração dos poluentes, da capacidade de autodepuração do corpo de água e de sua extensão topográfica em relação a sua área de escoamento. Consequentemente, outros usos da água deste mesmo corpo hídrico podem ter interferências.

Figura 11: Impactos da agricultura irrigada no ecossistema



Fonte: Próprio autor. NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio.

Outro exemplo apontado na Figura 11, no entanto, analisando em uma escala global, refere-se a emissão de gases provenientes da utilização de produtos químicos na agricultura, podendo citar a emissão de óxido nitroso (N_2O), sendo esse um potente gás do efeito estufa. Crutzen *et al.*, (2008) e a Academia Brasileira de Ciências (2010) apontam uma preocupação quanto a emissão desse gás nas monoculturas para produção da biomassa, insumo da geração dos biocombustíveis, devido o alto consumo de químicos. E analisando um impacto em uma escala mais regional, local, pode-se citar o desmatamento e a redução de habitats, uma vez que ambos estão correlacionados. Apesar desses impactos interferirem de forma local, o desmatamento e as queimadas possuem extrema interferência nas condições climáticas, promovem a emissão de gases, desencadeiam a proliferação de espécies invasoras, e de pragas.

Baccini *et al.*, (2012) colocam que o desmatamento contribui com 6 a 17% das emissões globais antropogênicas de CO_2 para a atmosfera. Para Lambin *et al.* (2001) mudanças no uso e cobertura da terra, de forma global, afetam significativamente os principais aspectos do funcionamento do sistema terrestre; comprometem diretamente a diversidade biótica em todo o mundo; contribuem para as mudanças climáticas locais e regionais, bem como para o aquecimento global; representam a fonte primária de degradação do solo; alteram os serviços ecossistêmicos; e promovem vulnerabilidades de lugares e pessoas a perturbações climáticas, econômicas ou sócio-políticas.

Pode-se perceber ainda que todos os impactos provocados no ecossistema, em detrimento do desenvolvimento da atividade agrícola, conseqüentemente, reduzem os serviços oferecidos por ele, uma vez que as bases dos suprimentos de todos os insumos utilizados na produção decorrem da sua extração (recursos naturais). Logo, impacto nos serviços ecossistêmicos, implica em reduções na disponibilidade dos insumos agrícolas.

Os impactos apontados na Figura 11 estão relacionados à expansão do agronegócio. No Brasil, nos últimos anos, o agronegócio tem se desenvolvido significativamente por várias de

suas regiões, incluindo áreas do cerrado, que atualmente representa 60% da produção de grãos do país (ANDRADE *et al.*, 2017). Sistemas de produção de pastejo animal possuem grandes potenciais de emissão de N₂O em função da deposição de nitrogênio sobre o solo “via excretas animais (urina e fezes) e/ou pela adubação mineral da pastagem” (ULIAN & BAYER, 2017; EMBRAPA, 2019c).

Quanto ao consumo de químicos na agricultura, Jarvie *et al.* (2015) apontam que o fósforo é um elemento essencial para a produção de alimentos e biocombustíveis, sendo um elemento insubstituível. Porém, por causa da degradação da qualidade da água que afeta os ecossistemas aquáticos, esse nutriente se torna uma grande ameaça à segurança hídrica e ambiental. Os autores realizaram uma pesquisa expondo o papel do fósforo (P) no contexto dos elementos nexus (JARVIE *et al.*, 2015):

- Os fertilizantes baseados em fósforo aumentaram a segurança alimentar, por elevar a cadeia de produção agrícola. No entanto, a perda do fósforo em todas as etapas de produção tem promovido a eutrofização dos corpos d’água, em especial, nas áreas marginais que acarretam na erosão do solo, degradação das margens e consequentemente, perda de fósforo mais rápido e em maior concentração para o curso de água. Deve-se dar uma atenção para os riscos no ecossistema aquático em função da perda do P.
- A industrialização e a espacialização geográfica da agricultura reduziram a reciclagem local de P e promoveram uma maior dependência de fertilizantes inorgânicos.
- Adotar práticas seguras de manejo do solo agrícola pode ajudar a proteger e melhorar a estrutura do solo e a sua fertilidade, minimizando as perdas do P, além de aumentar a eficiência da água;
- Promover a recuperação e reciclagem do P a partir do uso de adubos naturais como por exemplo, o estrume e utilizar o reuso de águas residuárias visando reduzir a dependência de fertilizantes inorgânicos e o consumo de água.
- Os fertilizantes a base de P aumentaram a demanda de energia e água por meio da intensificação da produção de grãos e carne. Eles passaram a sustentar uma indústria de biocombustíveis em rápido crescimento, baseada no etanol de grãos e no biodiesel.
- Sobrealimentação de P no gado ocorre quando os subprodutos do processamento de biocombustíveis são utilizados como ração animal.

Maligreau *et al.* (2012) apresentam um estudo sobre o consumo exacerbado de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) “NPK” na agricultura, e suas implicações políticas, econômicas e ambientais. Para os autores, a questão do NPK é uma questão global, o acesso a qualquer um desses elementos é uma questão regional e a gestão das culturas é uma dimensão local (MALIGREAU *et al.* 2012). Deve-se haver uma busca por soluções mais práticas que reduzam o consumo de fertilizantes, através do desenvolvimento de novas tecnologias e da transferência de tecnologias entre regiões (MALIGREAU *et al.* 2012). O Quadro 8 apresenta a composição dos principais fertilizantes utilizados na agricultura.

Quadro 8: Composição dos principais fertilizantes utilizados na agricultura

Fertilizantes com base em Nitrogênio	Fertilizantes com base em Fósforo	Fertilizantes com base em Potássio
Ureia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$	Fosfato de diamônio $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$	Cloreto de potássio KCl
Sulfato de amônia $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Superfosfato simples $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4$	Sulfato de potássio K_2SO_4
Nitrato de amônio NH_4NO_3	Superfosfato triplo $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$	Sulfato de potássio magnésia $\text{K}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{MgSO}_4$
Nitrato de cálcio e amônio $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$	Fosfato de rocha moído (fosfato mineral)	Nitrato de potássio KNO_3

Fonte: Maligreau *et al.* (2012)

O uso de todos os fertilizantes apontados no Quadro 8 pode acarretar em danos nos ecossistemas e na saúde das pessoas. De forma geral, não tem sido constatado impactos expressivos dos fertilizantes potássicos no solo ou na água superficial e subterrânea (GOMES *et al.*, 2008). A principal fonte de K é o mineral silvita, fonte de cloreto de potássio (KCl) que tem, em média, 60% de K_2O e se encontra em rochas sedimentares, conhecidas por evaporitos, associada à halita (NaCl) (GOMES *et al.*, 2008). Outros fertilizantes baseados em potássio estão apresentados no Quadro 8.

O uso de fertilizantes baseados em fósforo constitui de fontes de elementos radioativos (como Cd e U) a qual os agricultores ficam expostos, podendo acarretar em grandes danos à sua saúde (GOMES *et al.*, 2008). Quanto ao Nitrogênio, segundo a EMBRABA (2008), o uso de fertilizantes baseados em nitrogênio pode ser substituído pela fixação biológica do elemento contido no ar por meio da ação de bactérias do gênero *Rhizobium*, que atuam em simbiose com leguminosas; outra fonte de N de natureza orgânica é a adubação verde, que consiste em incorporar no solo o vegetal não decomposto; o estrume de animais também se constitui em fonte potencial de N, todavia, sua eficiência tem sido comprovada quando misturado com produtos inorgânicos, e mais recentemente tem se trabalhado com iodo de esgoto.

A FAO (2012a) aborda que a intensificação da produção agrícola deve ter como base três princípios técnicos:

- Realização simultânea de aumento da produtividade agrícola e valorização do capital natural e dos serviços ecossistêmicos;
- Maiores taxas de eficiência no uso de insumos, incluindo água, nutrientes, pesticidas, energia, terra e mão-de-obra; e
- O uso da biodiversidade natural para construir a resiliência do sistema aos estresses abióticos, bióticos e econômicos.

Na visão de Delonge & Basche (2017), as monoculturas para produção de alimentos ou produção de biocombustíveis têm sido associadas aos diversos impactos ambientais e sociais. Isso ocorre porque esse tipo de arranjo agrícola promove uma pressão nas águas superficiais e subterrâneas, degrada os solos tornando-os propensos à erosão, ocasiona perdas de espécies polinizadoras, possui um consumo exacerbado de fertilizantes e pesticidas, além de promoverem o declínio de algumas comunidades rurais (DELONGE & BASCHe, 2017). Os autores direcionam a agroecologia como uma solução para redução das pressões no solo, na água e na energia, pois são métodos que visam à conservação dos recursos hídricos e energéticos e melhoram a provisão dos serviços ecossistêmicos, além de reduzir o consumo

de pesticidas e fertilizantes por adotarem técnicas que ativam o aumento dos nutrientes do solo, como por exemplo, rotação de culturas (DELONGE & BASCHE, 2017).

2.2.2 Energia

Todo método de geração e transmissão de energia afeta ao meio ambiente (TSOUTSOS *et al* 2005). A proporção dos impactos varia de acordo com o tamanho, a natureza do projeto de construção e a forma de geração da energia. Medidas de mitigação devem ser tomadas para minimizar os efeitos nos serviços ecossistêmicos. A Tabela 2 apresenta uma síntese dos principais impactos promovidos nos ecossistemas para diferentes tecnologias de produção de energia.

Tabela 2: Impactos gerais nos ecossistemas promovidos por diferentes fontes de energia

Tipo de energia	Impactos no ecossistema	Fonte
HIDRÁULICA	<ul style="list-style-type: none"> - Redução de Habitats; - Redução de planícies de inundação; - Introdução de espécies exóticas; - Redução da biodiversidade local; - Perda da conectividade entre habitats – Perda da integridade ecológica; Alteração da hidrodinâmica e da morfologia do canal; - Interrupção no transporte de sedimentos; Migração de peixes. - Emissões de CO₂. 	Pang <i>et al.</i> (2014); Hastik <i>et al.</i> , (2015); Carolli <i>et al.</i> (2017); Puffer <i>et al.</i> (2017); IHA (2018)
SOLAR (Durante as etapas de construção, operação e descomissionamento)	<ul style="list-style-type: none"> - Uso da terra: grandes áreas são necessárias para sistemas centrais; - Impacto sobre o uso de água (para o resfriamento de usinas de vapor) e, possivelmente, poluição da água devido a descargas térmicas ou descargas acidentais de produtos químicos usados no sistema; - Impacto nos ecossistemas - Fauna e flora - (especialmente aves) - Alteração do microclima local, nos fluxos de raios solares, na velocidade do vento, distribuição das precipitações dentro do parque solar e alteração na troca de gases biogênicos e no vapor d'água – Interferência no equilíbrio das funções dos ecossistemas (fauna e flora); - Fragmentação de Habitats que criam barreiras ao movimento das espécies - Redução da biodiversidade local 	Hader <i>et al.</i> (1991); Tsoutsos <i>et al.</i> (2005); Turney & Fthenakis (2011); Hernandez <i>et al.</i> (2014); Armstrong <i>et al.</i> (2016)
EÓLICA	<ul style="list-style-type: none"> - Destruição do habitat e perturbação das rotas aéreas de espécies específicas de aves e morcegos; Mortandade de aves por colisão com as instalações eólicas; Mortandade de mamíferos marinhos durante a construção de parques eólicos <i>offshore</i>. 	Kunz <i>et al.</i> (2007); Snyder & Kaiser (2009); Hastik <i>et al.</i> , (2015); Jones <i>et al.</i> (2015)
BIOCOMBUSTÍVEIS	<ul style="list-style-type: none"> - Desmatamento; - Qualidade do habitat para animais e plantas selvagens aquáticos e terrestres em caso de intensificação do uso da terra; - A intensificação do uso da terra pode resultar em aumento das emissões de gases, taxas de eutrofização, poluição dos recursos hídricos subterrâneos, enfraquecimento do controle biológico de pragas e polinização natural; - Perda e contaminação do solo pela utilização de fertilizantes e agrotóxicos; - Monoculturas – Redução dos polinizadores - Emissão de gases NO_x. 	Hastik <i>et al.</i> , (2015)

Tabela 2: Continuação

Tipo de energia	Impactos no ecossistema	Fonte
CARVÃO	<ul style="list-style-type: none"> - Emissão de dióxido de carbono e dióxido de enxofre; - Contaminação de plantas perenes e decíduas (presença de poluentes na concentração foliar) que crescem nas proximidades de usinas de carvão; - Potencial de ecotoxicidade em água doce, marinha e potencial de ecotoxicidade do solo (terrestre); - Potencial de eutrofização de água doce, potencial de acidificação do solo. 	<p>Agrawal & Singh (2000); Mishra (2004); Gibon <i>et al.</i> (2017)</p>
PETRÓLEO	<ul style="list-style-type: none"> - Perda e fragmentação de habitats – Perfuração de poços, abertura de estradas, compressores, armazenamento (reservatórios), processamento do petróleo nas refinarias; - Mortandade de espécies por contaminação em poços de reserva e de lagoas de evaporação usadas para armazenar os subprodutos de perfuração. A maioria dos regulamentos exige que esses poços sejam isolados para evitar a entrada de animais selvagens, no entanto, isso nem sempre ocorre. - Mortandade aviária ocorre como resultado da queima de gás em pilhas de refinarias (compressores de gás, que emitem calor, chamas e toxinas) - Aumento da fragmentação paisagística – alteração de vias migratórias de algumas espécies de animais, mortandade de espécies vulneráveis e aumento de espécies invasoras. - Acúmulo de hidrocarbonetos nos organismos de espécies marinhas 	<p>Kingston (2002); Jones <i>et al.</i> (2015); . Allred <i>et al.</i> (2015)</p>
GÁS NATURAL	<ul style="list-style-type: none"> - Contaminação do solo por água de refluxo e de produção em função da extração do <i>shale gás</i> através da técnica de Fraturamento Hidráulico. 	<p>Kondash <i>et al.</i> (2017); Chen <i>et al.</i>, (2017)</p>
TÉRMICA	<ul style="list-style-type: none"> - Emissões na operação da usina, eutrofização, acidificação, ecotoxicidade aquática e marinha, poluição térmica. 	<p>Raptis <i>et al.</i> (2016), Almeida (2017)</p>

Fonte: Próprio autor

Walker *et al* (2014) abordam a questão do nitrogênio no setor da energia (em especial, gás natural e carvão). Segundo os autores, o gás natural para geração de energia elétrica é responsável por um fluxo anual de nitrogênio de 18.000 a 56.000 toneladas/ano. No entanto, o nitrogênio usado para fins residenciais, industriais e comerciais ainda supera esses valores, chegando entre 62.000 e 190.000 toneladas/ano. A maior parte do nitrogênio presente no gás natural é liberada na atmosfera após a combustão sobre a forma de nitrogênio diatômico (N₂) e óxido de nitrogênio (NO_x).

Os sistemas de energia solar proporcionam benefícios ambientais significativos em comparação com as fontes de energia convencionais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das atividades humanas (TSOUTSOS *et al.* 2005). No entanto, sua implantação em larga escala tem enfrentado possíveis implicações ambientais negativas. Estes potenciais problemas devem ser monitorados no intuito de reduzir os impactos nos ecossistemas e aumentar a segurança no uso da conversão desse tipo de energia (TSOUTSOS *et al.* 2005).

Em comparação com o petróleo e gás (e todos os combustíveis fósseis), a energia eólica tem as mais baixas emissões do ciclo de vida de dióxido de carbono e outros GEE, muitos estudos indicaram uma perda significativa na biodiversidade global e nos serviços de ecossistema como resultado do aumento das temperaturas globais a partir do uso de combustíveis fósseis (JONES *et al.*, 2015; JACOBSON, 2008).

O desenvolvimento da energia eólica está sendo promovido como uma alternativa "limpa". No entanto, essa perspectiva muitas vezes negligencia os impactos cada vez maiores do desenvolvimento energético na paisagem e na biodiversidade, uma vez que deve-se considerar que assim como o petróleo e o gás, a energia eólica requer uma rede de estradas, linhas de infraestrutura associada para captura e transporte (JONES *et al.*, 2015).

Estudos demonstram que o desenvolvimento de energia eólica pode resultar em mortalidade da vida selvagem por causa de colisão, contaminação ou eletrocussão. Além das turbinas, as instalações eólicas empregam torres meteorológicas que são conhecidas por resultar em mortalidade por colisão aviária (ERICKSON *et al.*, 2005), mas que muitas vezes são negligenciadas durante os estudos de mortalidade. A mortalidade pode causar declínios generalizados nas populações de aves e morcegos. Todos esses impactos exigem um monitoramento mais consistente e rigoroso (JONES *et al.*, 2015). A obtenção, síntese e comunicação de informações confiáveis sobre as taxas de mortalidade em diferentes cenários (por exemplo, localização geográfica, clima, topografia, presença de espécies de preocupação de conservação) é fundamental para identificar soluções criativas de engenharia e ambientais para minimizar os impactos (JONES *et al.*, 2015).

No caso das Hidroelétricas, para atender as demandas de energia são necessários a construção de reservatórios de armazenamento, uma vez que fornecem uma melhor relação entre disponibilidade do fluxo e demanda (RENOFALT *et al.*, 2010). No entanto, a implantação e operação de reservatórios nos cursos dos rios promovem um alto impacto social e ambiental que estão associados na maioria dos casos com área de alagamento dos reservatórios e com sua operação (ATES *et al.*, 2015; BENEJAM *et al.*, 2014; YU & XU, 2016; BOTELHO *et al.*, 2016).

A construção dos reservatórios possui a função de regularizar as vazões à jusante, acumulando reservas no período úmido para disponibilizá-las no período seco, modificando a vazão natural do rio (secas severas e enchentes). Essa modificação na sazonalidade das vazões naturais promovem alterações no ecossistema, pela perda de berçários naturais para os peixes e redução de espécies dependentes dos regimes sazonais para seu desenvolvimento (migradores), e altera o cotidiano de vida das comunidades ribeirinhas por ter que se adaptar às novas condições hidrológicas.

Nesse contexto, Poff *et al.* (1997) colocam que a qualidade e integridade ambiental de um rio são dependentes do regime hidrológico a que se submete. Collischonn *et al.* (2005) acrescenta que a quantidade de água necessária para dar sustentabilidade ecológica a um corpo d'água é variável no tempo, ou seja, os critérios e definições da vazão a ser liberada à jusante dos reservatórios devem contemplar todos os períodos que caracterizam o seu regime hidrológico. De acordo com esses autores, a vazão a ser liberada à jusante de reservatórios deve ser variável ao longo dos meses contemplando a quantidade, sazonalidade e qualidade de água necessária para manter o ecossistema aquático de uma bacia hidrográfica (chamada de vazão ambiental ou Hidrograma ambiental). No entanto, o que ocorre atualmente na maioria dos países é a liberação de uma vazão constante à jusante de reservatórios ao longo de todos os meses (chamada de vazão mínima), comprometendo a sustentabilidade do uso dos recursos e a manutenção da biodiversidade. Isso porque as condições hidrológicas (cheias, secas e inundações) possuem extrema influência nas funções ecológicas do meio.

Uma vez apresentado os impactos nos ecossistemas pelo setor de energia, a Tabela 3 traz um resumo das ligações entre as etapas de extração, geração, processamento e transporte de energia na quantidade e qualidade da água. De forma geral, observa-se que a qualidade da água é afetada através do escoamento de efluentes das operações de minerações de carvão e

urânio, água de refluxo, presença de reagentes na extração de petróleo e gás; estocagem de petróleo e gás em cavernas, emissões atmosféricas e poluição térmica pelas termelétricas, possíveis acidentes no transporte de energia.

Tabela 3: Conexões entre o setor energético, disponibilidade hídrica e qualidade da água

Etapas	Relação com a quantidade de água	Relação com a qualidade de água
Extração e produção de energia		
Petróleo e Gás	Água para perfuração do poço	Pode afetar a qualidade de águas subterrâneas pela presença de reagentes
Mineração de Carvão e Urânio	Água para extração	Rejeitos e drenagem podem afetar a água superficial e subterrânea
Geração de energia elétrica		
Termoelétrica (combustíveis fósseis, biomassa, nuclear)	Água para resfriamento* e limpeza	Irradiação térmica e emissão de gases afetam a água superficial e o ecossistema
Hidrelétrica	Perda de água por evaporação	Pode afetar a temperatura, aumento da concentração de alguns poluentes
Energia solar fotovoltaica e Eólica	Quantidade mínima de água usada para a lavagem do painel e estrutura de fixação (lâmina)	
Refinamento e processamento		
Refinamento tradicional de Petróleo e Gás	Água necessária para refinar o petróleo e gás	Uso final pode afetar a qualidade da água
Biocombustíveis e Etanol	Água para produção agrícola	Tratamento das águas residuais na refinaria
Transporte e armazenamento de energia		
Tubulação de Energia	Água para teste hidrostático	Águas residuais precisam de tratamento
Tubulação do carvão em suspensão	Água para transporte dessa mistura, água não retorna.	Água final com baixa qualidade precisa de tratamento
Transporte de energia em barcaça	Vazão e nível dos rios afeta a entrega dos combustíveis	Vazamento e acidentes podem afetar a qualidade da água
Estocagem de Petróleo e Gás em Cavernas artificiais	A mineração dessas cavernas requer grandes quantidades de água	O descarte afeta a qualidade de água e o ecossistema

Fonte: Adaptado de USDOE (2006) *Inclui solar e usina a vapor geotérmico

2.2.3 Água (Saneamento)

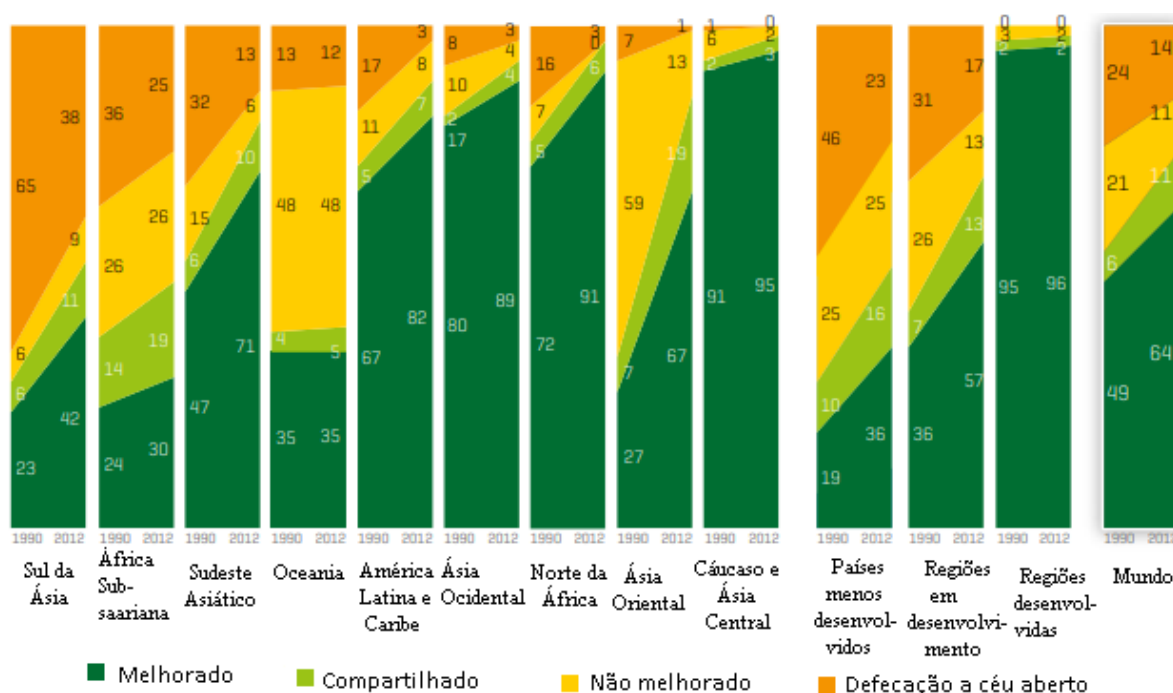
O setor de saneamento tende a impactar os ecossistemas em função do uso da água para abastecimento humano (urbano e rural). Este fator está intrinsecamente associado às relações de retirada, consumo e retorno. Na conjuntura de recursos hídricos (ANA, 2019), “retirada” refere-se à quantidade de água total retirada de um corpo hídrico para um determinado uso; “consumo” trata-se da parcela de água retirada que não retorna diretamente aos corpos d’água; e “retorno” refere-se à parcela de água retirada que retorna para os corpos d’água. Pode-se apontar então que consumo é “a diferença entre a retirada e o retorno” (ANA, 2019a).

Segundo a NBR 9649 (ABNT, 1986), o consumo de água para abastecimento humano resulta na geração de 80% de vazão de retorno (efluentes domésticos). A concentração dos poluentes presentes nessas vazões, o volume de esgoto gerado, e a presença ou ausência do saneamento em um determinado local remetem ao grau de poluição de um corpo hídrico referente a este serviço.

A *World Health Organization* (WHO) relata que progressos no setor de saneamento (Figura 12) tem se mostrado lento ao longo dos anos. Aproximadamente 2,5 bilhões de pessoas não têm acesso a melhores instalações de saneamento, sendo 784 milhões utilizam instalação sanitária pública ou compartilhada, 732 milhões utilizam uma instalação sanitária que não atende às normas mínimas de higiene, enquanto um bilhão restante de pessoas não possuem nenhum tipo de instalação sanitária.

Cheng *et al.* (2018) acrescentam que mesmo em áreas urbanas, onde prevalece banheiros domésticos e comunitários, mais de 2 bilhões de pessoas usam banheiros conectados a fossas sépticas que não são esvaziadas com segurança ou usam outros sistemas que descarregam esgoto bruto em esgotos a céu aberto ou em águas superficiais.

Figura 12: Tendências de cobertura de saneamento (%) por regiões no período de 1990–2012



Fonte: Traduzido de WHO (2014)

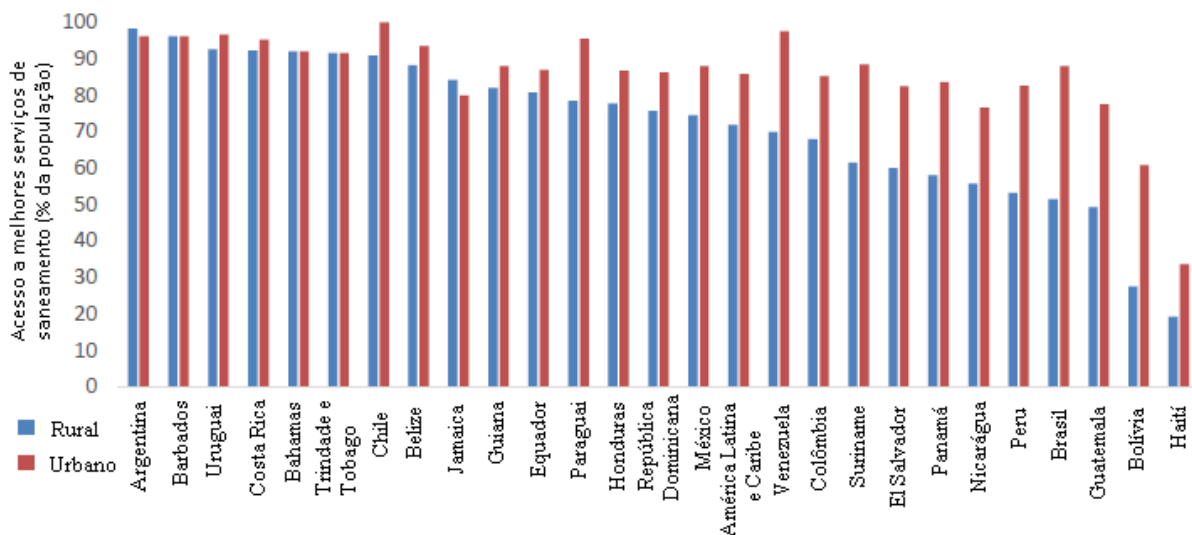
Dos 69 países que não estão a caminho de cumprir a metas do Objetivo de Desenvolvimento do Milênio de saneamento, 37 estão na região da África subsaariana (WHO, 2014). Lembrando que as metas do milênio visa reduzir a proporção da população sem acesso a saneamento melhorado de 51% em 1990 para 25% em 2015 (WHO, 2014).

Armah *et al.* (2018) em uma análise a 15 países da África Subsaariana quanto aos serviços de água e esgoto em 25 anos de dados aponta que o Malawi teve o maior acesso às instalações sanitárias com 83% no período de 2010 – 2015 e Madagascar registrou o menor acesso com 15% no mesmo período. No geral, os autores apontam uma melhoria nos serviços de saneamento na África Subsaariana nos períodos de 1990 – 1995 e 2000- 2005, no entanto, foi observada uma redução significativa desses serviços no período de 2010 – 2015. Os autores apontam como prováveis causas dessa redução a alta taxa de crescimento populacional e urbanização que não foram acompanhadas por crescimento econômico e investimento em infraestrutura de habitação, água e saneamento.

Na América Latina e no Caribe, a partir dos anos 90, os países adotaram medidas de reformas no setor de recursos hídricos e saneamento como, por exemplo, legislação focada em

financiamento e governança, participação privada do setor, a fim de preencher as lacunas de financiamento e criação de órgãos reguladores autônomos. Essas medidas impulsionaram grandes avanços no setor no período entre 1990 à 2015, podendo citar o caso de Honduras que aumentou a cobertura de 48% para 83%, e no Equador de 57% para 85% (BERTOMÉU-SÁNCHEZ & SEREBRISKY, 2018). Na Argentina, o saneamento rural ultrapassou o saneamento urbano e ambos alcançaram em 2015 coberturas superiores a 90%. Os países da Bolívia e Haiti apresentaram os menores valores de cobertura de saneamento, conforme ilustra a Figura 13.

Figura 13: Acesso a melhores serviços de saneamento em áreas urbanas e rurais, por país (2015)

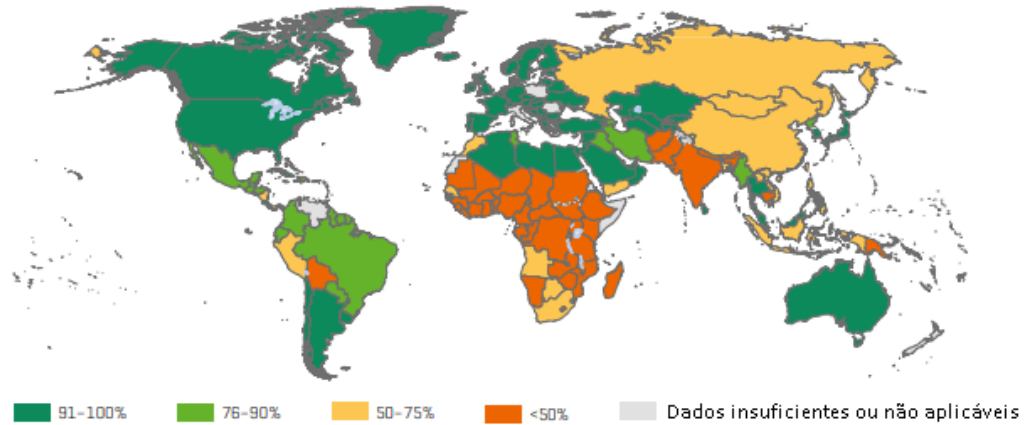


Fonte: Traduzido de Bertoméu-Sánchez & Serebrisky (2018)

Globalmente, os maiores progressos no setor de saneamento no período de 1990 – 2012 ocorreram na Ásia Oriental, em especial, influenciada pela China (WHO, 2014). Na China, a cobertura de sanitários nas áreas rurais aumentou de 7,5% em 1993 para 78,5% em 2015 (CHENG *et al.*, 2018). Cheng *et al.* (2018) relatam que em 2015 a quantidade coletada de lodo fecal urbano foi de 14,28 milhões de toneladas, correspondente a 47,3% de taxa de tratamento, em especial, Pequim que se destacou com uma taxa de tratamento que alcançou 92,3%. Segundo os autores, o país vem investindo em eco-saneamento que consiste no fechamento de ciclos de fluxo de materiais a partir da reutilização do esgoto.

O sul da Ásia e a África subsaariana continuam ter os níveis mais baixos de cobertura; na Oceania chama a atenção a Papua Nova Guiné onde se observa uma estagnação no setor de saneamento diminuindo de 20% em 1990 para 19% em 2012; e regiões como Sudeste e Sul da Ásia e Norte da África alcançaram um aumento da cobertura do saneamento superior à média para regiões em desenvolvimento (WHO, 2014). A Figura 14 traz um resumo da proporção de população que avançou em melhores instalações sanitárias correspondentes ao ano de 2012.

Figura 14: Proporção da população que utiliza saneamento melhorado em 2012



Fonte: Traduzido de WHO (2014)

O saneamento é um dos meios mais eficazes de prevenir doenças em uma população (LINS, 2010; ARMAH *et al.*, 2018) e garantir a integridade dos ecossistemas. Investir neste setor implica em estreita relação com melhorias na saúde humana e produtividade econômica (WHO, 2005). Sistemas de saneamento seguros são desafiadores e onerosos em todo o mundo (WHO, 2018), porém, os retornos sociais e ambientais são compensatórios. O preço em termos de ajuda para alcançar os objetivos do milênio em água e saneamento foi estimado em US\$ 10 bilhões e os benefícios econômicos totais estimados em cerca de US\$ 38 bilhões anualmente (IIED, 2007).

O Pacto Global da Organização das Nações Unidas traz a relação da falta do saneamento nos setores sociais e econômicos (Figura 15). Serviços de saneamento insuficientes acarretam em riscos econômicos, de produtividade e nos recursos hídricos. Riscos nos recursos hídricos interferem nos ecossistemas e reduzem a disponibilidade hídrica e aumentam os custos para tratamento da água, o que leva a desencadear riscos econômicos. As baixas disponibilidades de água de qualidade interferem diretamente no bem-estar humano, que acarreta em sua baixa produtividade para desenvolver suas atividades. Isso também acarreta em perdas econômicas.

Figura 15: Interferências da falta de saneamento no contexto social, ambiental e comercial



Fonte: Adaptado do Pacific Institute and UN Global Compact world

Os riscos para os recursos hídricos, devido à falta do saneamento, ocorrem pelo lançamento de efluentes domésticos nos corpos d'água. Os lançamentos desses efluentes podem ser classificados em fontes pontual ou difusa. Fonte pontual representa o lançamento de efluentes em localizações definidas, geralmente associada com regime contínuo de produção, como exemplo, o lançamento de efluentes através de coletores ou emissários (LIMA *et al.*, 2016). Fonte difusa (carga poluidora não pontual) é o lançamento intermitente de efluentes em corpos d'água de maneira descontínua, estando presentes em áreas extensas, muito característico de zonas rurais (LIMA *et al.*, 2016).

O controle dessas fontes de poluição em zonas urbanas é tradicionalmente delegado às Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) seguidas pela disposição de efluentes no mar e disposição de biossólidos em aterros (TJANDRAATMADJA *et al.*, 2010). Segundo Tjandraatmadja *et al.* (2010), o crescimento da população urbana está levando ao reconhecimento que o armazenamento de biossólidos é insustentável e que é necessário investir em outras estratégias como reutilização do esgoto com base nos avanços tecnológicos. Para identificar as melhores estratégias do gerenciamento desses efluentes, é preciso conhecer as fontes dos produtos domésticos e suas respectivas concentrações. A PROSAB (2009) e Jordão & Pessôa (2009) trazem uma estimativa das concentrações referentes aos principais nutrientes presentes nos efluentes domésticos (Quadro 9).

Quadro 9: Contribuições per capita e concentrações de nitrogênio, fósforo e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) em esgoto doméstico bruto

Parâmetro	Contribuição per capta (g/hab.d)	Concentração (mg/L)
Nitrogênio total	6,0 – 10,0	35 – 60
Nitrogênio orgânico	2,5 – 4,0	15 – 25
Amônia	3,5 – 6,0	20 – 35
Nitrito	~ 0	~ 0
Nitrato	0,00 – 0,2	0 – 1
Fósforo	0,7 – 2,0	4 – 12
Fosforo orgânico	0,2 – 0,8	1 – 5
Fosforo inorgânico	0,5 – 1,2	3 – 7
DBO	-	100 (esgoto fraco) e 200 (esgoto médio)

Fonte: Adaptado do PROSAB (2009) e Jordão & Pessôa (2009)

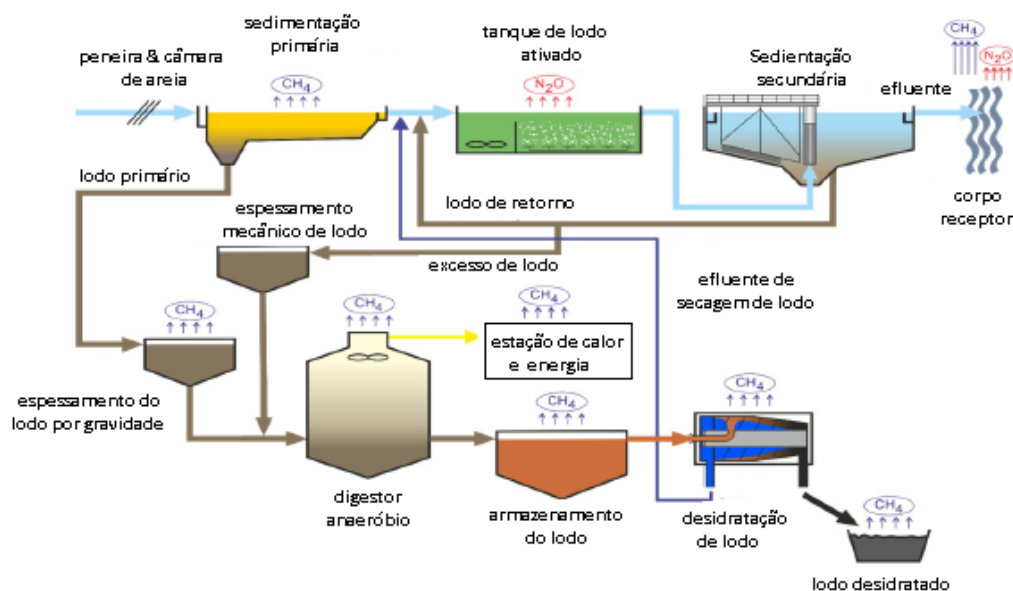
Altas concentrações de nutrientes no meio aquático tendem a acarretar o fenômeno conhecido como eutrofização que consiste na proliferação de organismos e plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas acarretando na depleção de oxigênio desses meios (BARROS, 2008; JORDÃO & PESSÔA 2009; PROSAB, 2009; LINS, 2010). Problemas de eutrofização tendem a promover frequentes florações de algas; crescimento excessivo da vegetação; distúrbios com mosquitos e insetos; maus odores; eventuais mortandades de peixes; com a anaerobiose, o ferro e o manganês encontram-se na forma solúvel, trazendo problemas para o abastecimento de água; o gás sulfídrico pode causar problemas de toxicidade e maus odores; dentre outros (PROSAB, 2009).

Tjandraatmadja *et al.* (2010) acrescentam ainda a presença de outros nutrientes nas fezes e urina, como o antimônio, cloreto, crômio, cobalto, fluoreto, molibdênio e selênio. O cobalto e o molibdênio são micronutrientes que podem afetar o crescimento de plantas; o cromo, que é tóxico em concentrações relativamente baixas, pode ser prejudicial para a vegetação aquática e terrestre; e o cloreto, quando o efluente é usado para irrigação, altas concentrações podem aumentar a captação de Cádmiu pelas plantas, causar queimaduras na folhagem e impactar a saúde do solo (TJANDRAATMADJA *et al.*, 2010).

Além dos problemas mencionados referentes às concentrações de nutrientes nos efluentes domésticos, é importante citar ainda os impactos das emissões de gases pelas ETE (PARRAVICINI *et al.*, 2016; CAMPOS *et al.*, 2016; ARSENE *et al.*, 2019), e as perdas de água no abastecimento (FONTANA & MORAIS, 2016; MUHAMMETOGLU *et al.*, 2018; OCIEPA *et al.*, 2019).

Lins (2010) e Arsene *et al.* (2019) trazem os principais gases formados nas reações presentes em ETE são: Metano (CH_4), Gás Carbônico (CO_2), Nitrogênio (N_2), Hidrogênio (H_2), Oxigênio (O_2), Óxido Nitroso (N_2O) e Gás Sulfídrico (H_2S). Parravicini *et al.* (2016) acrescenta que as emissões diretas nas ETE incluem CH_4 e N_2O que podem ser biologicamente produzidos e emitidos em esgotos durante a fase de tratamento do efluente e do lodo formado, e emissões indiretas estão associadas ao consumo de eletricidade, pela queima de combustíveis fósseis por transporte, pelo uso de produtos químicos (por exemplo, para precipitação de fosfato e desidratação de lodo) e pelo descarte de lodo de esgoto (biossólidos). A Figura 16 ilustra as emissões de N_2O e CH_4 em diferentes fases de uma ETE. N_2O está ligado diretamente aos tanques de lodo ativado em função da remoção de nitrogênio pelo processo de nitrificação e desnitrificação, e CH_4 está muito associada à produção e tratamento do lodo.

Figura 16: Exemplo de emissões de gases em uma ETE com digestão anaeróbia



Fonte: Traduzido de Parravicini *et al.* (2016)

Quanto aos sistemas de abastecimento de água, um dos seus grandes impactos refere-se às perdas de água na etapa de distribuição (vazamentos e transbordamentos dos tubos e conexões pressurizados). Essas perdas aumentam os custos econômicos e interfere na disponibilidade dos recursos em função dos insumos consumidos em todo ciclo de vida do sistema de tratamento da água, por exemplo, energia e reagentes químicos. Para Fontana & Morais (2016), a perda de água por vazamento é reconhecida como um dos principais desafios enfrentados pelas operações do sistema de distribuição de água. Muhammetoglu *et al.* (2018) traz como principais atividades para redução das perdas o monitoramento das taxas de fluxo e pressões da água, realização anual do balanço hídrico, modelagem hidráulica, controle ativo de vazamentos, e registros dos consumos dos usuários, além de aumentar a fiscalização para reduzir o consumo ilegal de água.

Capítulo 3

MATERIAIS E MÉTODOS

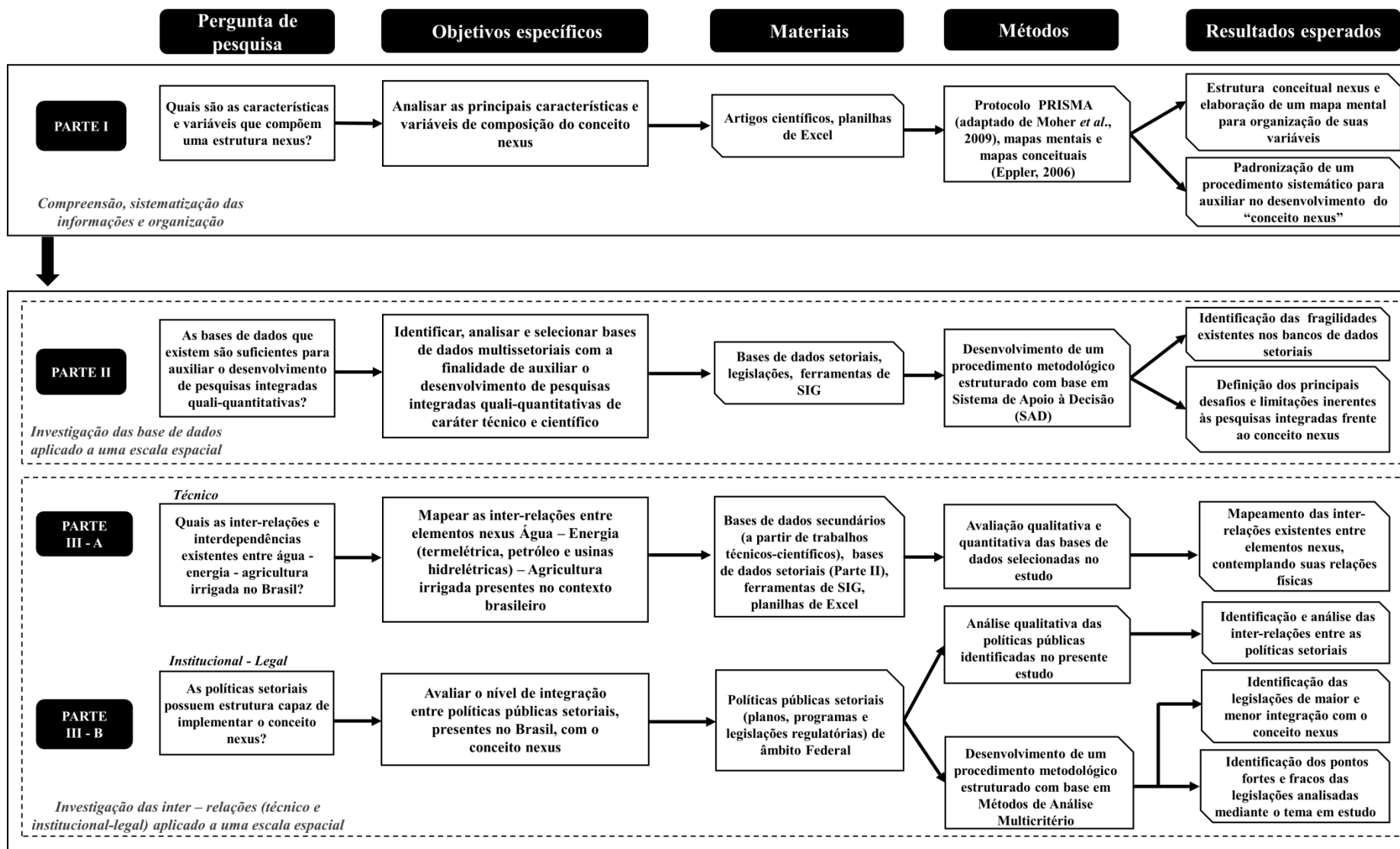
O presente estudo compreende a definição de bases metodológicas para auxiliar a incorporação do conceito nexus em modelos de gestão e planejamento dos recursos naturais. Para isso, inicialmente foi elaborado um procedimento sistemático que engloba todas as etapas necessárias para desenvolvimento do conceito nexus, a partir de uma extensa revisão de artigos científicos. Esse procedimento se aplica a qualquer escala espacial e contexto. A partir de sua definição são propostas novas estruturas e metodologias para atender etapas específicas.

Desta forma, foi realizado um recorte no procedimento construído dando ênfase em todas as etapas que envolvem a compreensão do tema, definição de metodologias, estruturas conceituais e o mapeamento das interligações entre água, energia e agricultura, visando responder aos objetivos propostos nesta pesquisa frente às lacunas encontradas na literatura científica. O desenvolvimento das etapas mencionadas foi realizado considerando os setores de água, energia e agricultura presentes no contexto brasileiro, contemplando a escala Nacional. A escolha por esta escala ocorreu devido à necessidade em conhecer as interações físicas e sociais entre elementos nexus seguindo a hierarquia de governo: Federal, Estadual, Municipal. Logo, é preciso inicialmente conhecer essas relações em escala Nacional, para assim, subsidiar futuros estudos para outras escalas espaciais.

Os critérios de escolha do recorte sinalizado foram: (1) grau de dependência - a necessidade prioritária em desenvolver as primeiras etapas do procedimento, uma vez que sem elas, não é possível avançar para outras fases; (2) tempo - tempo hábil para aplicar todas as etapas definidas, mediante à complexidade que envolve esse tema; e (3) complexidade das informações - a disponibilidade, integração, e tratamento de todas as informações necessárias para seu desenvolvimento.

A primeira parte do recorte realizado no procedimento sistemático envolve a construção de uma estrutura conceitual nexus tendo como suporte, a meta-análise (Protocolo Prisma), mapas mentais e conceituais. Na segunda parte do recorte foi conduzido a elaboração de um Sistema de Suporte à Decisão (SAD) com a finalidade de identificar, analisar e selecionar bases de dados multissetoriais. A terceira parte do recorte está voltada para o mapeamento das inter-relações entre elementos nexus no contexto brasileiro a partir de bases de dados setoriais, técnico-científico e ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG). O mapeamento foi realizado tanto para variáveis físicas quanto para variáveis sociais. O mapeamento das variáveis sociais (arranjo institucional, políticas públicas, etc.) representa o último recorte do procedimento que inclui a caracterização e análise das políticas públicas setoriais de âmbito Federal e a proposição de uma metodologia de classificação do nível de inter-relação existente entre essas políticas com o conceito nexus. A Figura 17 traz uma síntese das etapas metodológicas de composição desta pesquisa.

Figura 17: Fluxograma de composição das etapas gerais da metodologia



Fonte: Próprio autor

As partes metodológicas I (recorte 1 do procedimento), Parte II (recorte 2 do procedimento) e Parte III B (recorte 4 do procedimento) foram construídos seguindo a base estrutural de métodos de análise multicritério. Essa estrutura é composta pela definição do objetivo (meta) do processo, definição de alternativas, critérios e matriz de julgamento (avaliação) (HAJKOWICZ & COLLINS, 2007). As alternativas para a Parte I do estudo são os artigos científicos; para a Parte II, correspondem às bases de dados multissetoriais e para a Parte IV, as alternativas representam as legislações regulatórias. Todos os critérios foram definidos através da literatura científica. A avaliação dos critérios frente as alternativas pode ser realizada tanto por uma escala de pesos quanto por um análise qualitativa. A seção 3.1 apresenta a descrição da primeira parte do presente estudo.

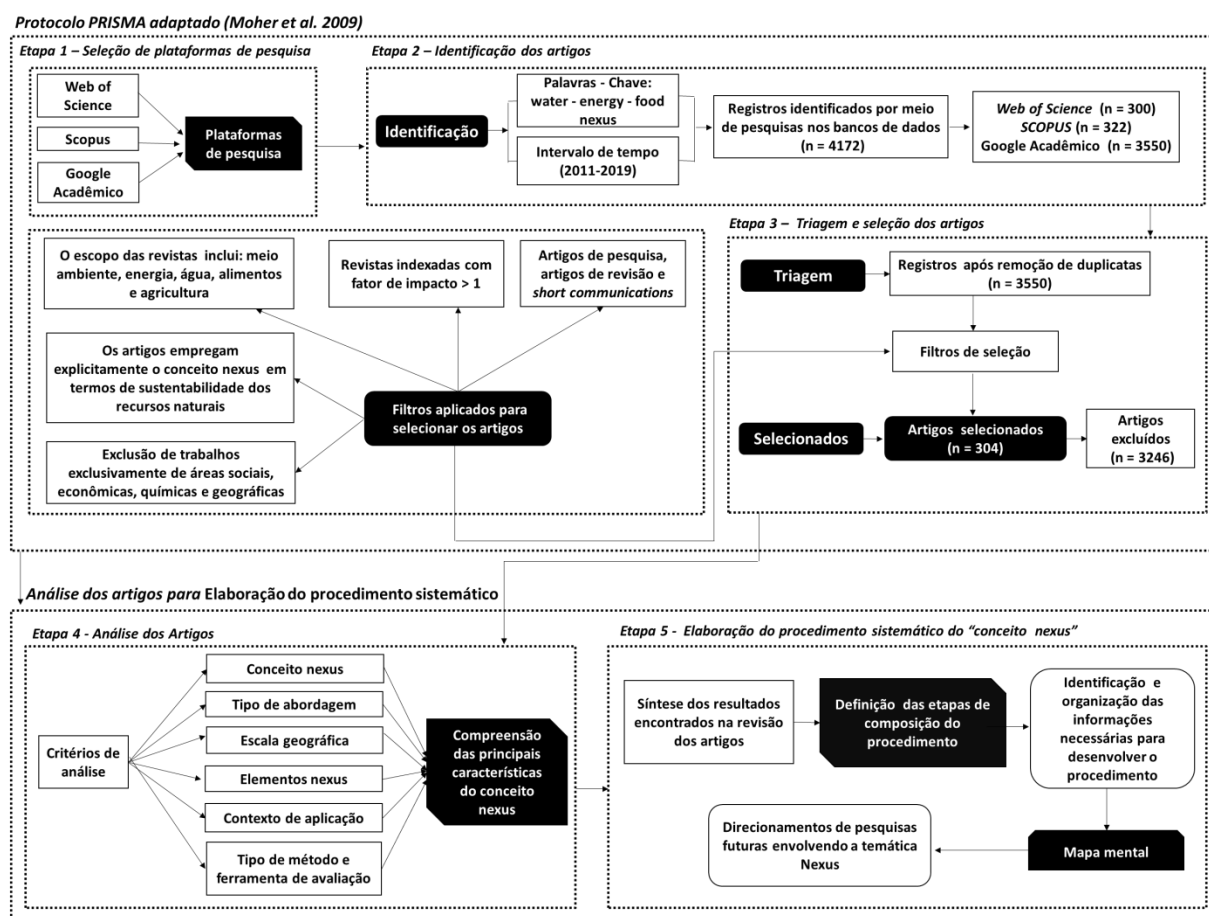
3.1 Revisão de literatura para proposição de um procedimento sistemático de desenvolvimento do “conceito nexus” (Parte I)

As hipóteses que nortearam a primeira parte deste estudo incluem:

- Os elementos mais utilizados na abordagem nexus são água, energia e alimento, desenvolvidos na maior parte dos casos para escala nacional, devido à facilidade em encontrar informações;
- O conceito nexus possui características inovadoras para áreas interdisciplinares podendo ser representado através de procedimentos, metodologias e modelos;
- Ainda não existe um modelo ou método global que represente todas as interações entre elementos nexus (água, energia, agricultura, alimento, clima, terra, nutrientes, etc.) e seus fatores intervenientes (mudanças climáticas, projeção populacional, urbanização, etc.);
- Os procedimentos e metodologias que existem atualmente não compõem todas as etapas padronizadas para desenvolvimento do conceito nexus e não possuem um sistema organizacional que possibilite elencar as principais informações que envolvem seus elementos.

Diante das hipóteses formuladas, a metodologia foi dividida em duas etapas (Figura 18), revisão de artigos científicos; e proposição das etapas de composição do procedimento sistemático de representação do conceito nexus. A primeira parte utiliza o protocolo PRISMA (MOHER *et al.*, 2009) para auxiliar na identificação e seleção de artigos nas plataformas de pesquisa. A segunda parte foi construída com base nos resultados alcançados na revisão, especialmente considerando três pontos de análise: (a) características e variáveis de composição do conceito nexus; (b) tipos de estudos desenvolvidos envolvendo esse conceito; e (c) tendências padrões desenvolvidas nos estudos nexus por diferentes autores.

Figura 18: Etapas metodológicas da Parte I do estudo



Fonte: Próprio autor

3.1.1 Identificação e seleção dos artigos (Etapas 1, 2 e 3)

A pesquisa foi realizada em plataformas de pesquisa como, *Web of Science*, *SCOPUS*, e *Google Acadêmico*. A seleção dos documentos foi iniciada com base nas palavras-chave “water, energy, food, nexus” presentes no título, palavras-chave e resumo de seus arquivos. Esse primeiro filtro resultou em um total de 300 documentos na *Web of Science*, 322 na *SCOPUS* e 3550 no *Google Acadêmico*. Todos os documentos identificados na *Web of Science* e *SCOPUS* foram encontrados no *Google Acadêmico*. Diante disso, o total de artigos selecionados, após duplicatas foram 3350.

Após remoção de duplicatas foram aplicados seis filtros de seleção dos artigos:

(a) ano de publicação considerado entre 2011 – agosto de 2019 (2011 representa o ano de referência em que este tema ganhou visibilidade na Conferência “*The Water Energy and Food Security Nexus – Solutions for the Green Economy*”);

(b) selecionados apenas “artigos de pesquisa”, “artigos de revisão” e “*Short communications*”. Neste caso, todos os documentos institucionais incluindo dissertações, teses ou trabalhos técnicos foram excluídos nesta etapa do estudo. Esse filtro foi aplicado considerando a representatividade dos artigos para a ciência. Teses e dissertações, na maior parte dos casos, estão associados ao desenvolvimento de artigos, logo, são inerentemente contemplados.

(c) artigos indexados em base internacional com fator de impacto maior que 1, visando garantir maior rigor no processo de seleção;

(d) artigos publicados em revistas que contemplem em seu escopo uma das quatro principais disciplinas de abordagem nexus: meio ambiente, energia, água e alimento/agricultura (*environmental, energy, water and food/agriculture*). Essas áreas representam o centro de investigação definido neste estudo;

(e) artigos publicados em revistas que possuíam em seus escopos as áreas de química, economia, social ou geografia sem mensurar associação com o termo “sustentabilidade” foram excluídos da amostra. Esse filtro foi considerado neste estudo porque o foco da investigação está centrado nas revistas com escopos nas áreas que compreendem diretamente relação com os elementos nexus, sendo, meio ambiente, recursos hídricos, energia e agricultura/alimento (grandes áreas). As áreas de química (constituição dos elementos nexus), economia (modelos hidroeconômicos, por exemplo), social (políticas públicas, por exemplo) e geografia (espacialidade) correspondem neste estudo a variáveis de investigação dentro das grandes áreas definidas. Logo, são variáveis essenciais, presentes em todas as discussões de desenvolvimento deste tema, sendo consideradas suas participações associadas às revistas que contemplavam os escopos das grandes áreas mencionadas anteriormente, por representar a finalidade desta parte da pesquisa;

(f) utilização do critério baseado em Albrecht *et al.* (2018) que apresenta como filtro a seleção de artigos que empregam explicitamente o conceito nexus em termos de sustentabilidade dos recursos naturais. Esse filtro foi utilizado em função do presente estudo considerar o conceito nexus aplicado à soluções sustentáveis visando a segurança hídrica, energética e alimentar.

Após a aplicação dos filtros propostos, 304 artigos foram selecionados. Os artigos selecionados foram analisados com base em critérios de classificação que estão apresentados no próximo item.

3.1.2 Análise dos Artigos - Critérios de Classificação (Etapa 4)

Os critérios (Tabela 4) representam os desafios elencados na literatura quanto ao: conceito nexus; tipo de abordagem; escala geográfica; elementos nexus; contexto de aplicação; e tipo de método e ferramenta de avaliação. Para tanto, esses critérios foram definidos com base nos estudos desenvolvidos especialmente por Dai *et al.* (2018), Zhang *et al.* (2018), Albrecht *et al.* (2018) e Zhang *et al.* (2019). Vale ressaltar que todos os artigos selecionados foram analisados com base em todos os critérios definidos.

O critério “Conceito nexus” refere-se a três aspectos: (a) compreensão do crescente interesse da temática nexus no período entre 2011 – 2019; (b) Definição de seu conceito a partir da sistematização dos resultados da revisão dos artigos; e (c) Identificação dos temas associados ao conceito nexus, abordados por diferentes autores, e definição de suas interligações a partir da elaboração de uma estrutura conceitual. Este critério levou em consideração o ano de publicação e a identificação desses conceitos e temas no título, introdução e resultados dos artigos.

Tipo de abordagem é dividido em: (a) categoria “conceitual”, que possui como principal característica a compreensão da estrutura dos *interlinks* entre elementos nexus. Essa caracterização também inclui análises de seus princípios, possuindo caráter descritivo e discursivo; e (b) categoria “aplicação – estudo de caso” que refere-se a uma determinada área

de abrangência, na maior parte dos casos, associado a um caráter metodológico. Esse critério foi identificado através do título, resumo, introdução e metodologia dos artigos.

Tabela 4: Critérios de classificação dos artigos

Critério	Descrição
Conceito nexus	Analisa a dimensão da utilização do termo nexus na literatura e identifica os conceitos trabalhados por diferentes autores relacionados a essa abordagem.
Tipo de abordagem	Categorizado em conceituais e de aplicação. Os artigos conceituais representam trabalhos “teóricos” (não possui escala geográfica definida). Os artigos de aplicação remetem aos estudos de casos (possui uma escala geográfica definida).
Escala geográfica	Categorizado em seis tipos: Global (mundial, conjuntos de países, continente); nacional (países); regional/local (Estados, cidades, comunidades, empresas, etc.); bacia hidrográfica (sub-bacias, bacias transfronteiriças, e rios); indefinido (para os trabalhos que não definiram uma escala por não tratar de uma aplicação/estudo de caso), e múltiplas escalas (para artigos que trabalharam com dois ou mais tipos de escalas espaciais).
Elementos nexus	Representa as inter-relações entre elementos do nexus. Foram consideradas todas as composições entre esses elementos encontrados na literatura, englobando múltiplas combinações entre eles.
Contexto de aplicação	Divididos em grande área e pequena área. Grande área corresponde às disciplinas definidas em função do escopo da revista de publicação, utilizadas na etapa de seleção dos artigos, sendo eles: meio ambiente, energia, água e agricultura/alimento. Pequena área representa os contextos que estão inseridos dentro de cada grande área.
Tipo de método e ferramenta de avaliação	Esse critério inclui as seguintes categorias: Qualitativos – incluem aplicação de métodos e ferramentas da ciência social; Quantitativo – incluem aplicação de métodos e ferramentas quantitativos; e Quali-quantitativo – incluem artigos que trabalharam com métodos qualitativos e quantitativos. Para os artigos que não contemplaram a aplicação de instrumentos ou métodos, foram classificados como “não aplicaram ferramentas ou métodos”.

Fonte: Próprio autor

Para escala geográfica foi considerado a relação de macro (global), média (nacional) e micro (regional/local e bacia hidrográfica) escala de aplicação do conceito nexus. Sua identificação foi realizada no título, resumo, introdução e metodologia dos artigos. Este critério possui forte associação com o critério tipo de abordagem, uma vez que todo artigo de aplicação possui uma escala geográfica. Logo, ao ser identificado um, automaticamente é identificado o outro.

No critério “elementos nexus” foram considerados composições de: (a) dois elementos (por exemplo, Água - Energia); (b) três elementos (por exemplo, Água-Energia-Alimento); (c) quatro elementos (por exemplo, Energia-Alimento-Água-Terra); e (d) cinco elementos (por exemplo, Água-Energia-Alimento-Terra-Ecosistema).

A definição do “contexto de aplicação” foi realizada analisando o resumo e a introdução dos artigos. Para esse critério foram consideradas duas classificações: (a) quanto a grande área (meio ambiente, energia, água e agricultura/alimento) a partir do escopo da revista de publicação; e (b) quanto à pequena área, que representa o tema central discutido nos artigos correspondentes a uma das quatro grandes áreas definidas. Existiram alguns casos, em que o escopo da revista se enquadrava em uma área específica, por exemplo, meio ambiente, no entanto, o artigo priorizava outro segmento como água ou agricultura de forma mais abrangente. Neste caso, o artigo era classificado dentro do contexto que era priorizado.

O critério “Tipo de método e ferramenta de avaliação”, foi identificado no resumo, metodologia e resultados dos artigos. Os métodos e ferramentas foram abordados considerando a frequência das citações, ou àqueles que não possuem assiduidade ou citação

nos artigos dessa natureza, porém, tenham, em sua estrutura, características que possibilitem seu uso. Isso foi feito para garantir a inclusão de ferramentas que ainda não foram contemplados nos estudos nexus, mas que podem viabilizar suas avaliações. Complementando as análises desse critério, foi conduzida ainda uma discussão sobre as principais limitações que envolvem a modelagem nexus, no intuito de fomentar maiores contribuições para a literatura científica e aplicada. Alguns exemplos de composição desse critério são: aplicação de questionário, *workshops*, entrevistas, Técnica *Delphi*, plataformas de modelagem matemática, modelo de fluxo de massa e energia, indicadores, métodos de análise multicritério, Análise do Ciclo de Vida (ACV), e análise *Input-Output*.

Os resultados encontrados com a análise dos critérios serviram de base para a elaboração de um procedimento sistemático de representação do conceito nexus, como pode ser observado na próxima seção.

3.1.3 Elaboração do procedimento sistemático de representação do “conceito nexus” (Etapa 5)

O procedimento proposto representa etapas necessárias para desenvolvimento do conceito nexus em modelos de planejamento e gestão dos recursos naturais. Para isso, é preciso compreender suas características, objetivos, funcionamento, variáveis de composição e tendências. Essas informações são encontradas na literatura científica.

As etapas de composição do procedimento visam nortear o desenvolvimento de pesquisas futuras envolvendo a abordagem nexus, principalmente, direcionado para elaboração de modelos conceituais, procedimentos metodológicos, sistemas de apoio à decisão, e sua própria aplicação para múltiplas escalas. As etapas propostas seguem uma ordem de hierarquia. Ou seja, primeiramente é necessário conhecer a realidade presente das inter-relações entre os elementos nexus para assim, avaliar e propor perspectivas de cenários de planejamento.

Os resultados das análises dos critérios apontados na Tabela 4 são utilizados para elencar as variáveis de composição do procedimento. Todas as variáveis devem integrar o sistema organizacional nexus, porém, não necessariamente todas serão utilizadas em uma aplicação. A definição das variáveis para aplicação irá depender da necessidade do estudo. Importante mencionar que composições diferentes entre variáveis resultam em resultados diferentes. Por exemplo, um estudo que contemple escala de bacia hidrográfica, agrupamentos de três elementos nexus (água, energia, alimento) e utilização de plataformas de modelagem poderá alterar os resultados em caso de alteração de apenas uma dessas variáveis. Logo, pode-se apontar que as etapas do procedimento são fixas, porém, seus componentes são dinâmicos.

Para auxiliar na organização das informações que compõem o procedimento foram utilizadas as metodologias de mapas mentais e mapas conceituais. Essas metodologias, originalmente discutidas por Tony Buzan e Joseph Novak, respectivamente, consistem em criar links entre ideias de forma criativa, irrestrita e livre, onde o pensamento espontâneo é representado de forma hierárquica (radial) (BUZAN, 2005; EPPLER, 2006). Esses métodos podem ser empregados em áreas interdisciplinares, sendo suas utilizações iniciadas a partir de uma ideia central. Para este estudo, a ideia central corresponde a abordagem nexus. A partir dela, as variáveis e conceitos identificados na revisão bibliográfica são sintetizados e associados.

Uma vez definido o procedimento e estruturado suas etapas, foi feito o levantamento das principais informações necessárias para sua aplicação. No intuito de analisar a disponibilidade dessas informações, bases de dados setoriais foram identificadas no contexto

brasileiro, como pode ser visto na próxima seção. Essa etapa é essencial para o sucesso de qualquer aplicação do conceito nexus em uma escala geográfica definida.

Importante mencionar que a elaboração, avaliação e projeção de cenários de planejamento (modelagem nexus), proposto no procedimento sistemático, não foi contemplado nos objetivos deste estudo devido representar um processo longo, de alta complexidade, que necessita de uma análise mais criteriosa dos sistemas de água, energia e agricultura em termos físicos e tempo hábil para ser concretizado.

3.2. Proposição de um procedimento metodológico para identificação, análise e seleção de bases de dados multissetoriais (Parte II)

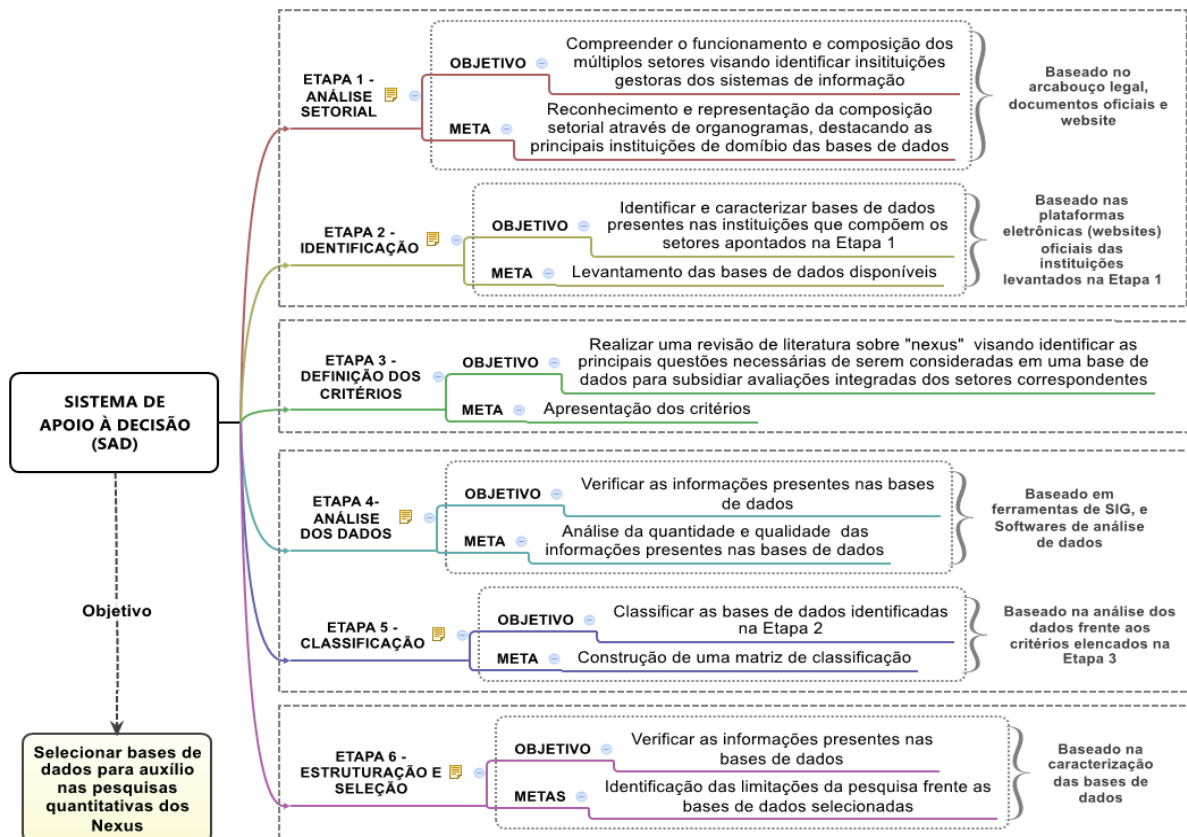
Esta parte da pesquisa foi definida considerando a necessidade de estruturar uma metodologia voltada para análise das fragilidades das bases de dados perante a complexidade presente nas inter-relações entre elementos distintos contemplados na abordagem nexus. Neste sentido, esta parte do estudo foi dividida em duas etapas: (a) apresentação do procedimento para identificação, análise e seleção das bases de dados; e (b) aplicação do procedimento proposto em um estudo de caso realizado com as bases de dados nacionais dos setores de água, energia e agricultura existentes no Brasil.

O procedimento foi desenvolvido com base nas seguintes hipóteses:

- Quanto menor a disponibilidade de dados para pesquisas quantitativas dentro do contexto nexus, maior a quantidade de simplificações e limitações em seu desenvolvimento, podendo, em alguns casos, inviabilizar a pesquisa;
- Existem divergências nas informações apresentadas por diferentes instituições;
- As informações dos setores de água, energia e agricultura estão espalhadas em várias instituições e documentos e;
- O delineamento de pesquisas com o tema nexus pode ser alterado a depender do grau de nivelamento e integração existente entre suas informações.

A partir dessas hipóteses, o procedimento metodológico foi estruturado em um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) desenvolvido com base na estrutura organizacional de análise multicritério, conforme mencionado anteriormente. Para esta pesquisa, as alternativas representam as bases de dados, os critérios são utilizados para analisar as alternativas, a matriz de classificação representa a matriz de julgamento, e o objetivo corresponde em selecionar bases de dados para auxílio nas pesquisas nexus, especialmente de caráter quantitativo, conforme ilustra a Figura 19.

Figura 19: Sistema de apoio à decisão para análise e seleção de bases de dados (Etapas Parte III)



Fonte: Próprio autor

A primeira etapa consiste na análise institucional que remete a compreensão do funcionamento e composição dos setores envolvidos, no intuito de identificar a localização e acesso aos seus bancos de dados. Para isso, é necessário analisar suas estruturas, legislações, documentos e sites oficiais de cada setor envolvido, de forma que represente a atuação política vigente. Como principal meta desta etapa, tem-se a construção de organogramas por possibilitar a organização hierárquica de um determinado setor, facilitando o seu entendimento.

Uma vez reconhecida a composição organizacional, é realizado o levantamento das principais bases de dados através de consultas nas plataformas oficiais (websites) das instituições de interesse e, quando necessário, entrevistas com gestores de cada segmento (Etapa 2).

Para a etapa três, foram definidos os critérios de análise das bases de dados. Para a definição dos critérios foram considerados dois pontos: (a) Revisões de literatura sobre nexus, em especial, estudos de Eftelioglu (2016), Endo *et al.* (2017), Mcgrane *et al.* (2018), Zhang *et al.* (2018), Albrecht *et al.* (2018), Crootof, & Scott (2018), Dai *et al.* (2018), e Shannak *et al.* (2018); e (b) a partir da revisão, é efetuada a identificação das principais questões necessárias de serem consideradas em uma base de dados para subsidiar avaliações integradas dos setores correspondentes. Os aspectos assinalados delinearão a construção de sete critérios, conforme mostra a Tabela 5.

Tabela 5: Critérios de classificação das bases de dados

Critério	Definição	Categorias
Acesso à Informação	Representa o acesso às informações presentes em uma base de dados.	(1) Disponível - Acesso livre para download; (2) Condicionada - Pode ser acessada através de autorização do segmento que as representam; (3) Não disponível - Não são acessíveis para download, porém, podem ser visualizadas.
Escala Temporal	Escala de tempo de apresentação dos dados.	(1) Diário; (2) semanal; (3) mensal; (4) anual; (5) Outros, (6) Múltiplas - Utilização de mais de uma escala temporal; (7) Não consta - não apresenta escala temporal.
Período de monitoramento dos dados	Corresponde aos registros dos dados.	(1) Série histórica - Sequência de observações de dados coletados de forma contínua durante um período de tempo, para intervalos regulares; (2) Restrita - Não existe sequência de observação dos dados, as informações são apresentadas para intervalos irregulares; (3) Não consta - Não apresenta período de monitoramento, incluem bases de dados apenas de caracterização.
Escala Geográfica	Refere-se à escala espacial de apresentação dos dados.	(1) Nacional; (2) Regional (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul, Sudeste); (3) Estadual; (4) Bacia hidrográfica; (5) Local (cidades, empresas, reservatórios, etc.); (6) Múltiplas - Apresentação de mais de uma escala geográfica.
Grandezas	Retrata a medição de um ou mais fenômenos. Por exemplo, volume, vazão, produção, dentre outros.	(1) Única grandeza - Representação apenas de uma única grandeza; (2) Múltiplas grandezas - Representação de mais de uma grandeza; (3) Não consta - Trata-se de bases de dados documentais e espaciais.
Tipo de bases de dados	Representa o formato de apresentação das informações presentes nas bases de dados.	(1) Caracterização - Bases de dados direcionadas para descrever algumas características de um setor, não possuindo monitoramento das informações apresentadas (por exemplo, o descritivo do perfil de uma usina de energia sem apresentar o monitoramento de sua produção); (2) Produtividade - Dados apresentados em um formato que permita a sua manipulação, contendo monitoramento de seus dados (por exemplo, histórico da produção de uma usina expostas em planilhas de Excel); (3) Documentais - Dados apresentados em documentos técnicos e científicos, publicados em periódicos, teses, relatórios, dentre outros. Neste caso, as informações já foram manipuladas pelos autores.
Espacialização dos dados	Análise das bases de dados quanto ao georreferenciamento de suas informações.	(1) Georreferenciado; (2) Não georreferenciado.

Fonte: Próprio autor

Importante frisar que a partir da realização de novas revisões bibliográficas, outros critérios podem ser incluídos na matriz de classificação, desde que seja caracterizada e justificada a sua inclusão.

Na etapa quatro, é efetuada uma verificação sobre a qualidade das informações disponibilizadas, averiguando quatro pontos: (a) presença de dados georreferenciados, por representar a espacialização das informações; (b) possibilidade de utilizar múltiplas escalas geográficas, visto a abrangência da abordagem nexus; (c) presença de divergências nos dados apresentados por diferentes instituições, por simbolizar incertezas na informação; e (d)

presença de bases de dados que represente mais de um elemento nexus de forma interligada (por exemplo, água-energia, energia-agricultura).

Além desses aspectos, outras questões podem ser incluídas nesta etapa caso se mostrem pertinentes de serem consideradas. Ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e outros instrumentos de análise de dados são essenciais para apoio no desenvolvimento desta fase. Com base na etapa 4, é elaborada a construção da matriz de classificação (relação entre critérios e alternativas) para avaliação das bases de dados catalogadas (Etapa 5).

A partir disso, é concretizada a seleção das bases de dados (Etapa 6) respeitando dois passos: (a) identificação da categoria do critério que obteve a menor quantidade de bases de dados inseridas e; (b) análise da relevância dessa categoria para o desenvolvimento da pesquisa. Em caso de se tratar de uma categoria relevante (não pode ser modificada), as bases de dados inseridas irão corresponder às bases de dados selecionadas. Porém, no caso dessa categoria não ser relevante para o estudo (pode ser modificada), ela deve ser desconsiderada como parâmetro de seleção e outra categoria deverá ser analisada, sucessivamente, até o fechamento do processo de seleção.

3.2.1 Estudo de caso: Análise das bases de dados presentes no Brasil

O Brasil é definido como área de estudo em função dos avanços que vem ocorrendo nas pesquisas do país envolvendo o tema nexus, com destaque para algumas chamadas de projetos e conferências, visando abranger sua inserção e maior discussão no país. É considerado, também, o fato de não existirem estudos publicados que contemplem análises conjuntas das bases de dados existentes dos setores de água, energia e agricultura envolvendo esse tema.

Diante disso, considera-se pertinente o desenvolvimento do procedimento proposto no Brasil no intuito de reconhecer e analisar suas bases de dados para subsidiar pesquisas integradas dentro da temática nexus. A aplicação do procedimento foi realizada para bases de dados em escala nacional. Não foram consideradas bases de dados em escala Estadual uma vez que o objetivo do estudo está centrado nas discussões de âmbito Federal. Investigações do arcabouço institucional de âmbito Estadual e Municipal devem ser conduzidas em futuros trabalhos.

Para o desenvolvimento da primeira fase foram utilizadas como base de informações a Medida Provisória nº 870 de 2019 (BRASIL, 2019f), decretos Federais que englobam os Ministérios do Governo dos quais esses setores fazem parte (BRASIL, 2019b; BRASIL, 2019c; BRASIL, 2019d), a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (BRASIL, 1997a), a Política Agrícola, (BRASIL, 1991), e a Política energética (BRASIL, 1997b). As principais instituições identificadas foram estruturadas em um organograma correspondente à composição organizacional de cada setor.

Após a identificação das instituições, foram realizados o levantamento e a caracterização das bases de dados presentes nesses setores, a partir da análise de suas plataformas eletrônicas, contemplando as Etapas 1 e 2. As etapas seguintes foram conduzidas através da relação entre os critérios assinalados na Etapa 3 frente às características das bases de dados levantadas. Para o desenvolvimento da Etapa 6, foi necessário definir um esboço de pesquisa (representando algumas categorias dos critérios) como exemplo para aplicação do SAD.

Tendo o conhecimento das bases de dados disponíveis no Brasil, foi possível realizar o mapeamento das interligações entre elementos nexus no país, conforme consta na próxima parte do estudo. Essa avaliação é necessária para se conhecer a realidade do nível de inter-relações existentes entre os múltiplos setores quanto às suas variáveis físicas e sociais.

3.3 Identificação e análise das inter-relações entre elementos nexus (Parte III)

Esta parte do estudo, conforme mencionado, representa um panorama das interligações entre os elementos nexus considerando dois contextos: (a) relações entre demanda, consumo e impactos dos setores em análise englobando suas características físicas; e (b) relações das políticas públicas setoriais. No presente estudo políticas públicas setoriais são consideradas como um conjunto de programas, planos, projetos, ações e legislações de interesse público e bem-estar social que compõe os sistemas de gestão dos múltiplos setores governamentais (SEBRAE, 2008). As seções seguintes apresentam os descritivos dessas duas vertentes.

3.3.1 Identificação das inter-relações entre elementos nexus em escala nacional (Parte III – A)

Compreendem basicamente duas etapas: (a) caracterização dos setores em estudo; (b) identificação e análise das suas interligações e interdependências. As interações analisadas foram:

- **Água para energia** - Consumo de água no setor de energia. Neste caso, foram consideradas as três principais tipologias de energia presentes na matriz energética atuante no Brasil: Hidrelétricas, termelétricas e petróleo (refinarias). Essas três tipologias foram escolhida considerando dois fatores, maior participação na matriz energética brasileira e maior consumo de água em termos globais dentre as tipologias mundiais (MEKONNEN *et al.*, 2015; CHANG *et al.* 2016).
- **Energia para água** - Consumo de energia no setor de saneamento (abastecimento de água e esgotamento sanitário); e
- **Água e energia para o setor agrícola** - Consumo de água e energia na agricultura irrigada para produção de bioenergia e produção de alimentos. Importante mencionar que a seleção das culturas que foram analisadas levou em consideração àquelas que detinham os maiores quantitativos em termos de produção no país e a disponibilidade dos dados.

As etapas metodológicas desenvolvidas em cada interação estão apresentadas na Tabela 6. As análises foram realizadas a partir de dados secundários presentes em uma grande variedade de bases de informações setoriais e em publicações técnicas-científicas. As ferramentas utilizadas na tabulação e análise de dados correspondem às planilhas de Excel e o QGIS, sendo um *software* de geoprocessamento de licença livre.

Tabela 6: Etapas metodológicas para desenvolvimento da Parte III - A

Interações	Aspectos analisados	Tipo	Etapas de desenvolvimento	Dados secundários		Parâmetros e variáveis analisadas
				Trabalhos técnicos científicos	Banco de dados	
Água para energia	Demanda de água para diferentes tipologias de energia	Termelétrica		IEMA (2016), Guimarães Francisco (2018), Arroyo (2018)	Banco de Geração de Informação (BIG)/ANEEL, banco de dados do ONS, <i>websites</i> de algumas usinas	Tipo de combustível, capacidade instalada (MW), potência (Turbina a vapor) (MW), sistema de resfriamento, fonte hídrica, captação (m ³ /h)/MW, perdas (m ³ /h)/MW e situação hídrica da região
		Refinaria de petróleo	(1) Caracterização do setor de energia presente no Brasil; (2) Levantamento dos dados; (3) Análise da demanda de água nas tipologias de energia de maior abrangência no território nacional.	Vanelli (2004), Barbosa <i>et al.</i> (2005), Amorim (2005), Carvalho (2006), Schor (2006), Lemes (2007), Nogueira (2007), Pombo (2011), Anze (2013), Gripp (2014), Souza (2018), Guedes <i>et al.</i> (2019)	Banco de dados da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)	Capacidade de refino (barril/dia), volume de carga processada (nacional e importada) (barril/dia), demanda de água (m ³ /dia), efluente (m ³ /d), situação hídrica e unidades de processamento
		Hidrelétrica		Mekonnen & Hoekstra (2011), Coelho (2016), Bueno <i>et al.</i> (2016), Vieira <i>et al.</i> (2018), Semertzidis <i>et al.</i> (2018),	Banco de Geração de Informação (BIG)/ANEEL, banco de dados do ONS, SIGEL, WEB MAP EPE	Área do reservatório (Km ²), capacidade instalada (MW), evaporação (mm/ano), pegada hídrica (m ³ /Mwh)
Energia para água	Consumo de energia no setor de saneamento	Concessionárias de água e esgoto	(1) Caracterização do setor de recursos hídricos no Brasil, disponibilidade, demanda e principais efluentes gerados; (2) Identificação das concessionárias de água e esgoto distribuídas no país	Moura (2010), SNIS (2019a), SNIS (2019b), IEA (2016), USDOE (2006), Young (2015), ANA (2017), Von Sperling (2016), Soares & Gonçalves (2017), projeto PROBIOGÁS (Ministério das Cidades, 2017),	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento SNIS (MDR, 2019)	Consumo de energia e suas perdas em algumas etapas do processo (captação, distribuição, tratamento, etc.)

Tabela 6 : Continuação

Interações	Aspectos analisados	Tipo	Etapas de desenvolvimento	Dados secundários		Parâmetros e variáveis analisadas
				Trabalhos técnicos científicos	Banco de dados	
Energia para água			(3) Análise do consumo de energia nas concessionárias identificadas; (4) Análise específica do consumo de energia para algumas etapas do processo; (5) Relação da porcentagem de coleta e tratamento dos esgotos no Brasil; (6) Análise das perdas.	Wakeel <i>et al.</i> (2016), Vilanova & Balestieri (2015); ANA (2017b)		
Água e energia na produção agrícola	Demanda de água e energia na agricultura irrigada	Produção de alimentos e bioenergia	(1) Identificação dos polos de agricultura irrigada distribuídas no território nacional; (2) Identificação das culturas e tipos de sistemas de irrigação utilizados; (3) Identificação da bacia hidrográfica de abrangência dos pontos de captação de água para irrigação; (4) Verificação dos dados de outorga de captação de água por bacia hidrográfica para irrigação; (5) Análise do consumo de água e energia por tipo de cultura.	Lima <i>et al.</i> (1999), Hernandes et al. (2013), ANA (2013), Sá <i>et al.</i> (2013), FGV (2016), EMBRAPA (2014a), Veiga <i>et al.</i> (2015), Silva <i>et al.</i> (2016), ANA (2017a), Classe <i>et al.</i> (2017), ANA (2019f), Caixeta (2019)	Cadastro de outorgas/ANA, Censo Agropecuário 2017/IBGE, Metadados/ ANA (SNIRH)	Sistemas de irrigação (eficiências e perdas), Consumo de água por área plantada (m ³ /ha), água virtual bruta de exportação (106 m ³ /ano), água virtual bruta de importação (106 m ³ /ano), coeficiente de cultura (Kc), e demanda específica de água por produção (m ³ /ton), consumo de energia por tipo de cultura em função de entradas diretas e indiretas

Fonte: Próprio autor

O mapeamento dos elementos nexus em escala nacional visa compreender suas inter-relações para poder propor melhores estratégias de gerenciamento de seus recursos e atividades. Além disso, o conhecimento dessas relações, para escala definida, direciona o desenvolvimento de outros estudos contemplando escalas menores (por exemplo, regional e local), considerando que o sistema de gestão do país segue uma hierarquia, Federação, Estado, Município.

Além das investigações das interligações das características físicas dos setores de água, energia e agricultura, é preciso também analisar suas características institucionais e legais, que regem o desenvolvimento desses setores no país. Para isso, foi elaborada a terceira parte do presente trabalho.

3.3.2 Procedimento metodológico para classificação do nível de integração entre conceito nexus e políticas setoriais (Parte III – B)

Esta parte da pesquisa contempla a elaboração de um procedimento metodológico para classificação e análise das políticas setoriais em relação às premissas presentes no conceito nexus. As políticas setoriais incluem planos, programas, legislação, ações administrativas e projetos de diferentes instituições. No entanto, para o presente estudo, foram consideradas apenas os programas e planos do governo Federal e as legislações regulatórias. Para os planos e programas foi realizada a identificação e caracterização, enquanto que para as legislações regulatórias foi efetuada a identificação e a aplicação da metodologia proposta.

A elaboração desta metodologia utilizou como base de estruturação a mesma utilizada no desenvolvimento da Parte II deste estudo, que consiste no conceito de análise multicritério. Essas estruturas representam métodos de avaliação que empregam matrizes de julgamento para auxiliar na tomada de decisão (HAJKOWICZ & COLLINS, 2007). Essas matrizes são preenchidas por pesos a partir da avaliação de um conjunto de variáveis por meio de um conjunto de critérios. A partir do preenchimento da matriz, as variáveis são classificadas hierarquicamente de acordo com um objetivo definido. Devido a essas características, esses métodos apresentam uma estrutura ideal para auxiliar no desenvolvimento desta parte da pesquisa. Seguindo essa lógica, os critérios representam as características de composição do conceito nexus, e as variáveis representam as políticas setoriais.

As perguntas-chave que nortearam o desenvolvimento desta parte do estudo estão estabelecidas na seguinte ordem:

- (a) É possível encontrar uma ligação entre as atuais políticas setoriais e o conceito nexus?
- (b) Em caso afirmativo, qual é o nível de inter-relação entre as políticas setoriais e as principais características presentes no conceito nexus?
- (c) Qual política setorial possui maior inter-relação com o conceito nexus?
- (d) Que mudanças precisam ser feitas para conectar políticas setoriais ao conceito nexus?

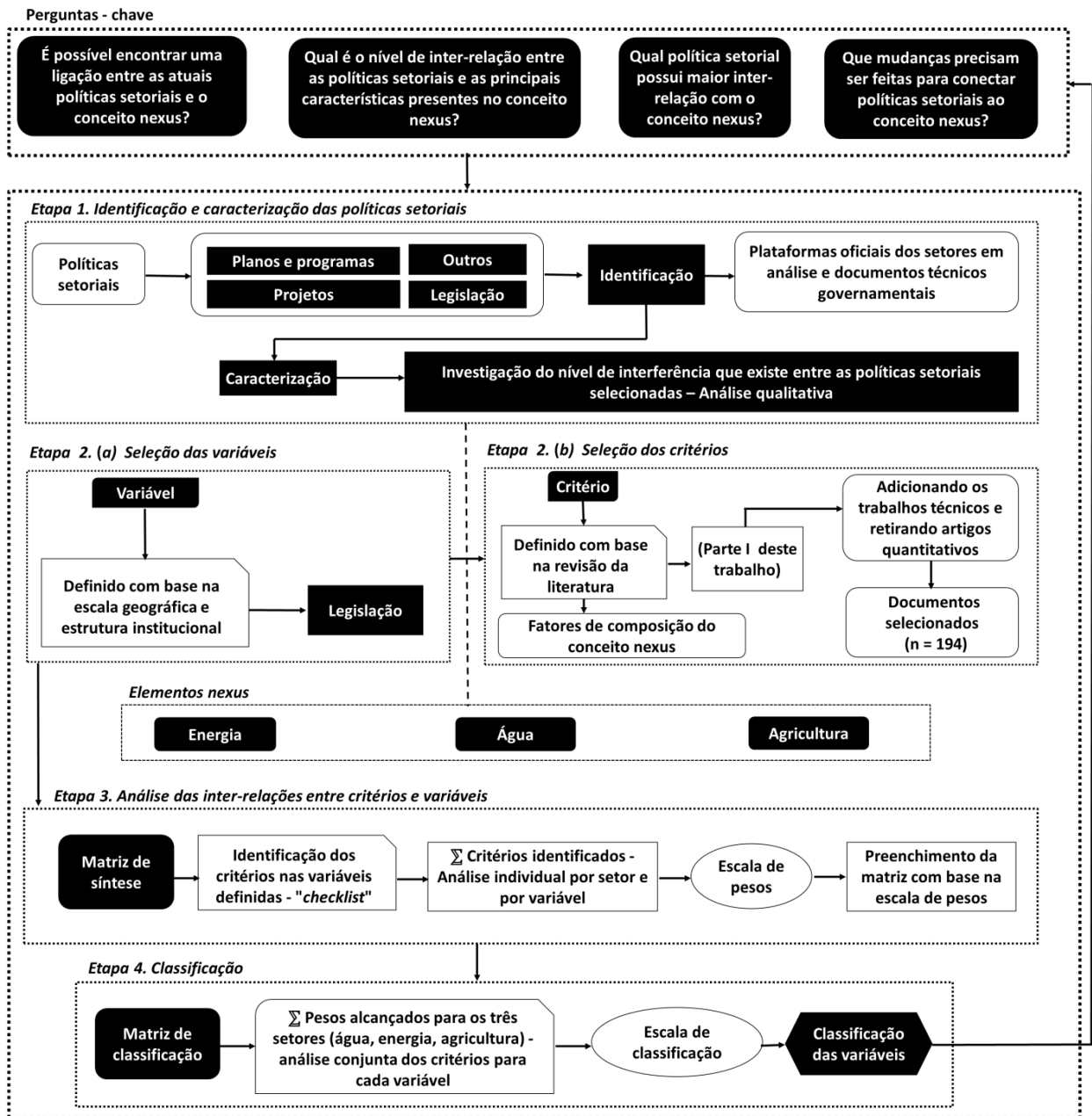
Essas questões foram definidas através da literatura científica, principalmente considerando os estudos de Bazilian *et al.* (2011); Larcom & Gevelt (2017); Embid & Martin (2018); e Venghaus & Hake (2018). Diante disso, as hipóteses levantadas foram:

- As políticas setoriais no Brasil possuem baixo nível de integração com o conceito nexus;
- As políticas de recursos hídricos são as que mais se aproximam de uma estrutura para implementar o conceito nexus;

- É necessária a elaboração de novas políticas de água, energia e agricultura para alcançar uma integração entre elas.

Uma vez definidas as hipóteses, foram determinadas quatro etapas de composição da metodologia (Figura 20): (a) identificação e caracterização das políticas setoriais; (b) seleção das variáveis e critérios; (c) análise das variáveis selecionadas a partir dos critérios definidos; e (d) classificação do nível de inter-relação.

Figura 20: Etapas metodológicas da Parte III – B



Fonte: Próprio autor

3.3.2.1 Identificação e caracterização das políticas setoriais (Etapa 1)

A identificação das políticas setoriais no Brasil foi feita a partir das plataformas oficiais (websites) dos ministérios que compõem os setores de recursos hídricos, energia e agricultura

e em documentos técnicos governamentais. O levantamento da composição de cada ministério será exposto na segunda parte dos resultados deste estudo (seção 4.2).

A caracterização, realizada para os principais planos e programas do governo levantados em cada setor, levou em consideração a investigação do nível de interferências existentes entre elas. Para isso, foi utilizada como suporte, a seguinte escala:

- **Nenhuma inter-relação:** O plano ou programa não possui inter-relação, direta e indireta, com outros setores em análise;
- **Baixa inter-relação:** O plano ou programa possui inter-relação indireta com um ou dois setores;
- **Média inter-relação:** O plano ou programa possui inter-relação direta com um setor e inter-relação indireta com outro setor;
- **Alta inter-relação:** O plano ou programa possui inter-relação direta com os dois setores em análise.

Inter-relação direta refere-se às interferências que diretamente ocorrem em um determinado setor em detrimento da elaboração ou execução de ações em outro setor. Por exemplo, a aplicação de ações conjuntas entre eficiência energética e eficiência hídrica em um setor, proveniente de um programa governamental, automaticamente interfere de forma direta tanto no setor de águas quanto no de energia. Enquanto interligação indireta refere-se àquela em que um determinado plano, programa ou ação desenvolvido em um segmento interfere, indiretamente, em outro. Por exemplo, a aplicação de ações de redução do consumo de energia em equipamentos comerciais (geladeira, batedeira, ar condicionado, etc.), de forma indireta interfere no setor de água por compreender que as tipologias de energia consomem este recurso.

As interferências podem representar um ponto positivo ou negativo nos setores a depender das ações implementadas. Por exemplo, implementação de maquinários agrícolas implica no maior consumo de energia devido à necessidade de combustível. Porém, a depender do tipo de combustível utilizado o impacto pode ser menor ou maior. Outro exemplo pode-se citar o caso da agricultura de precisão que envolve utilização de tecnologias avançadas. A depender do tipo de tecnologia, irá remeter a um alto ou baixo consumo de água e energia. Assim, sucessivamente para outros exemplos.

Tendo identificado os programas, planos e legislações de interesse, foram selecionadas as variáveis e critérios para desenvolvimento da metodologia.

3.3.2.2 Seleção das variáveis e critérios (Etapa 2)

Para este estudo, as variáveis representam as legislações regulatórias de âmbito Federal representativos dos setores de água, energia e agricultura no Brasil. Legislações Federais que compreendem apenas a institucionalidade de um órgão (por exemplo, a Lei nº 9.427/1996 que institui a ANEEL) ou àquelas que apresentaram especificidades para um determinado assunto ou setor, não foram consideradas porque não cabem ser integradas com outras políticas setoriais. Neste caso, a metodologia proposta é direcionada apenas para as políticas regulatórias. Todas as legislações regulatórias identificadas foram utilizadas nas avaliações.

Quanto aos critérios, eles foram definidos a partir da revisão da literatura iniciada na primeira parte deste estudo, porém, além dos artigos científicos foram adicionados 32 trabalhos técnicos de instituições de referência como: a Organização das Nações Unidas para

Agricultura e Alimentação (FAO), Instituto Internacional de Desenvolvimento Sustentável, Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL), Instituto de Meio Ambiente de Estocolmo (SEI) e Agência Internacional de Energia (AIE). Os trabalhos científicos classificados como “quantitativo”, na primeira parte desta metodologia, foram desconsiderados para esta fase, por ter sua maior discussão direcionada para aplicação do conceito nexus e não meramente sua abordagem teórica. Neste sentido, os critérios foram definidos com base nas análises de 194 trabalhos técnicos - científicos.

A partir da seleção dos documentos, dezoito (18) critérios foram estabelecidos, sendo seis representativos de cada segmento (Tabela 7). Os critérios determinados consideraram sua frequência nos trabalhos analisados e seu nível de relevância (aspectos essenciais do conceito nexus). Para este estudo, todos os critérios selecionados têm o mesmo peso de relevância nas avaliações das variáveis. Os principais autores que nortearam essas definições são WEF (2011), Benson *et al.* (2015), Biggs *et al.* (2015), Hoff (2011), Scott *et al.* (2011), Hanlon *et al.* (2013), Ringler *et al.* (2013), Embid & Martín (2018), Venghaus & Hake (2018), Portney *et al.* (2018) e Huckleberry & Potts (2019).

Tabela 7: Critérios de análise considerando os segmentos de água, energia e agricultura

Água	Energia	Agricultura
Segurança Hídrica (C1)	Segurança Energética (C7)	Segurança alimentar (C13)
Conservação e uso racional da água (C2)	Conservação e uso racional de energia (C8)	Fomentar o uso de fontes de água não convencional, incentivando o reuso e reciclo nos processos (C14)
Relação integrada entre água superficial e água subterrânea. (C3)	Mitigação de emissões de gases causadores do efeito estufa (C9)	Incentivo no aumento de fontes alternativas de energia (bioenergias, eólica e solar) nos processos (C15)
Recursos hídricos sem dissociação entre quantidade e qualidade (C4)	Incentivo para aumento de fontes de energia renováveis na matriz energética (C10)	Incentivo para formas de alcançar produções mais sustentáveis, reduzindo as emissões de gases causadores do efeito estufa (C16)
Fomentar à utilização de tecnologias para alcançar a eficiência hídrica visando a redução de perdas (C5)	Fomentar a utilização de tecnologias para alcançar a eficiência energética visando a redução de perdas (C11)	Fomentar a utilização de tecnologias para alcançar eficiência no uso de insumos nos processos visando a redução das perdas (C17)
Integração com a política de meio ambiente (para análises do presente critério em relação a uma variável do setor de águas), ou integração com a política de recursos hídricos (quando for analisar o presente critério em relação a variáveis de outros segmentos) (C6)	Integração com a política de meio ambiente (para análises do presente critério em relação a uma variável do setor de energia), ou integração com a política energética (quando for analisar o presente critério em relação a variáveis de outros segmentos) (C12)	Integração com a política de meio ambiente (para análises do presente critério em relação a uma variável do setor de agricultura), ou integração com a política agrícola (quando for analisar o presente critério em relação a variáveis de outros segmentos) (C18)

Fonte: Próprio autor

Os critérios 6, 12 e 18 possibilitam dois tipos de análises: (a) investigação quanto à integração com a política de meio ambiente; e (b) investigação quanto à integração com a própria política setorial do segmento em análise. O primeiro caso é direcionado principalmente para análises de critérios e variáveis de um mesmo setor e o segundo caso, para análises de critérios e variáveis de setores diferentes.

A descrição mais detalhada dos demais critérios pode ser encontrada no Capítulo 4 (item 4.1). Finalizado a etapa de seleção, é conduzido à análise dos critérios mediante as variáveis definidas.

3.3.2.3 Avaliação das inter-relações entre critérios e variáveis (Etapa 3)








A análise consiste em identificar se os critérios estão contemplados no escopo das variáveis. Embora a aplicação da metodologia considere apenas as legislações regulatórias, vale ressaltar que o tipo e a quantidade de critério a serem utilizados nas análises vão de acordo com o tipo de variável a ser investigada. Por exemplo, avaliação do nível de integração entre conceito nexus e projetos específicos desenvolvidos nos setores de energia e recursos hídricos, nem sempre possuem relação com o setor de agricultura, logo, os critérios definidos para este setor precisam ser revistos. Por outro lado, projetos desenvolvidos no setor de agricultura, quase sempre consideram alguma relação com os setores de água e energia. Logo, para este caso, todos os critérios determinados tendem a ser utilizados. Diante disso, percebe-se que as avaliações entre critérios e variáveis são dinâmicas e não fixas. Para a aplicação neste trabalho, todos os critérios serão analisados para todas as legislações definidas.

Para a identificação dos critérios nos escopos das variáveis, é realizado o preenchimento de uma matriz. Neste estudo, as linhas representam os critérios e as colunas representam as variáveis. A matriz representa uma lista de verificação (*Checklist*), ou seja, indica todos os critérios identificados no escopo da legislação em análise (preenchimento da matriz por 1 representa presença do critério; por 0 representa ausência do critério).

Após este processo, é realizado o somatório de todos os critérios presentes nas variáveis analisadas por tipo de segmento (água, energia e agricultura). Por exemplo, na Legislação 1 foram encontradas x critérios do segmento de água, x critérios do segmento de energia e x critérios do segmento de agricultura. Os resultados dos somatórios para cada segmento correspondem a uma escala de pesos conforme pode ser vista na Tabela 8.

Deve-se relatar que essa escala foi construída considerando o total de seis critérios por segmento, totalizando dezoito critérios. Nas situações em que é necessário alterar o número de critérios nas análises, essa escala deve ser adaptada. Além disso, importante mencionar que todas as escalas definidas no presente estudo tiveram como base para elaboração o método de análise multicritério AHP - *Analytic Hierarchy Process* (SAATY, 2003) e o método DHRAM - *The Dundee Hydrological Regime Alteration Method* (BLACK *et al.*, 2005).

Tabela 8: Escala de pesos

Categoria	Escala numérica	Descrição	Escala de cor
Muito alto	6	Seis critérios foram atendidos	
Alto	5	Cinco critérios foram atendidos	
Intermediário	4	Quatro critérios foram atendidos	
Médio	3	Três critérios foram atendidos	
Baixo	2	Dois critérios foram atendidos	
Muito baixo	1	Um critério foi atendido	
Não existe relação	0	Nenhum critério foi atendido	

Fonte: Próprio autor

Com o preenchimento da matriz pelos pesos, segue para última etapa que consiste na classificação das variáveis.

3.3.2.4 Classificação (Etapa 4)

Para realizar a classificação, é necessário determinar uma escala de classe. Essa escala é elaborada considerando dois aspectos: (a) valor limite alcançado pelo somatório de todos os critérios mediante todos os segmentos, que neste caso, corresponde à dezoito; e (b) a quantidade de classes e suas amplitudes.

O valor limite representa o máximo valor alcançado na soma dos pesos das colunas da matriz. O número de classes pode ser encontrado através da Equação 1, que representa a Regra de Sturges (Regra do Logaritmo), definida com base em uma aproximação na distribuição binominal pela normal (STURGES, 1926).

$$k = 1 + 3,3\log A \quad \text{Eq. 1}$$

Onde k representa o número de classes, e A representa o valor limite da escala de classes.

A partir dessas definições, foi possível determinar a escala de classificação, conforme apresenta a Tabela 9. Para este estudo, foram adotadas diferentes amplitudes. A classificação é realizada considerando a comparação entre o somatório dos pesos de todos os critérios preenchidos na matriz com as classes determinadas na tabela 9.

Tabela 9: Escala de classificação

Valor limite da escala	18	
Resultado Eq. 1	5	
Classe	Pontos	Escala de Cor
Excelente integração	17 - 18	
Alta integração	13 - 16	
Média integração	9 - 12	
Baixa integração	5 - 8	
Muito baixa integração	1 - 4	

Fonte: Próprio autor

O Quadro 10 apresenta uma síntese de todos os objetivos específicos propostos no presente estudo associado às etapas metodológicas apresentadas neste capítulo.

Quadro 10: Síntese das relações entre objetivos específicos e etapas desenvolvidas na metodologia

Objetivos específicos	Etapas desenvolvidas na metodologia	Base utilizada para estruturação metodológica
Analisar as principais características e variáveis de composição do conceito nexus	Revisão de literatura para proposição de um procedimento sistemático de desenvolvimento do “conceito nexus”	Estruturas de métodos de análise multicritério
Identificar, analisar e selecionar bases de dados multissetoriais com a finalidade de auxiliar o desenvolvimento de pesquisas integradas qualitativas de caráter técnico e científico	Proposição de um procedimento metodológico para identificação, análise e seleção de bases de dados multissetoriais (Parte II)	
Mapear as inter-relações entre elementos nexus Água – Energia (termelétrica, petróleo e usinas hidrelétricas) – Agricultura irrigada presentes no contexto brasileiro	Identificação das inter-relações entre elementos nexus em escala nacional (Parte III – A)	Mapeamento das inter-relações entre variáveis físicas
Avaliar o nível de integração entre políticas públicas setoriais, presentes no Brasil, com o conceito nexus	Procedimento metodológico para classificação do nível de integração entre conceito nexus e políticas setoriais (Parte III – B)	Mapeamento das inter-relações entre variáveis sociais e estruturas de métodos de análise multicritério

Fonte: Próprio autor

Capítulo 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados e discussões dos componentes metodológicos apresentados no Capítulo 3.

4.1 REVISÃO DE LITERATURA PARA PROPOSIÇÃO DE UM PROCEDIMENTO SISTEMÁTICO PARA DESENVOLVIMENTO DO “CONCEITO NEXUS” (PARTE I)

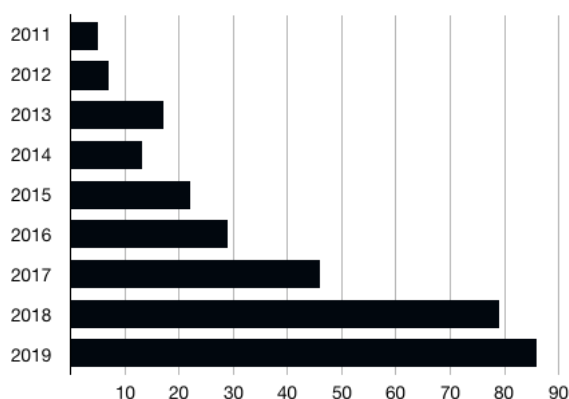
Esta sessão traz os resultados referentes à meta-análise dos artigos científicos selecionados para o estudo e a elaboração do procedimento sistemático para desenvolvimento do “conceito nexus”.

4.1.1 Resultados da análise dos artigos (Critérios)

4.1.1.1 Conceito nexus

A partir da revisão da literatura pôde-se perceber um crescente aumento no uso do termo nexus em artigos científicos, principalmente a partir do ano de 2016 (79% para um total de 304 artigos), como pode ser observado na Figura 21. O aumento do interesse nesse tema foi verificado também por outros autores como, por exemplo, Cairns & Krzywoszynska (2016), Wichelns (2017), Albrecht *et al.* (2018), Zhang *et al.* (2018), Abdelkader *et al.* (2018), Dai *et al.* (2018) e Zhang *et al.* (2019).

Figura 21: Resultados encontrados quanto ao ano de publicação dos artigos



Fonte: Próprio autor

Isso tem ocorrido em função, especialmente, de dois aspectos: pelo aumento da utilização da abordagem nexus nos discursos e debates globais sobre recursos naturais (CAIRNS & KRZYWOSZYNSKA, 2016; AMORIM *et al.* 2018); e por apresentar uma falta de clareza e consenso relacionados ao seu conceito e aplicação (CAIRNS & KRZYWOSZYNSKA, 2016; WICHELNS, 2017), o que gera dúvidas e incertezas para fomentar pesquisas.

Considerando os vários “conceitos nexus” levantados no Capítulo 2 (revisão bibliográfica), o presente estudo o define como um “paradigma para a gestão pública dos recursos naturais” direcionado para avaliações quali-quantitativas de sistemas inter-relacionados e interdependentes. Seus objetivos envolvem a gestão compartilhada, o planejamento estratégico e adaptativo, a formulação de políticas públicas correlatas, a sinergia entre múltiplos setores e a aplicação de soluções sustentáveis (por exemplo, ações de eficiência hídrica e energética) em qualquer contexto. Quanto às suas principais características incluem, sistemas complexos em rede, generalista, aberto, dinâmico, multicêntrico e multifacetado. Sistemas complexos em rede porque toda base do conceito nexus envolve interconexões entre múltiplos setores, o que implica em uma grande quantidade de fluxos entre sistemas diversos. Aberto em virtude das múltiplas possibilidades de interações entre distintos setores, contextos e escalas. Possui dinamismo porque envolve elementos que são modificados em função do tempo e do espaço, a depender das condições física, econômica, política, e da própria condição natural. É multifacetado porque apresenta características variadas que são definidas a depender da situação em que é empregado. É multicêntrico porque todos os elementos a serem considerados devem ocupar uma posição central onde todos tenham o mesmo nível de relevância.

Devido a essas características, observa-se que a abordagem nexus representa uma aplicação de dois conceitos integrados dentro da área interdisciplinar: (a) Teoria Geral dos Sistemas (TGS); e (b) ciência da complexidade. A TGS surgiu na década de 50 na área de biologia com os estudos de Ludwig Von Bertalanffy, sendo um modelo de interpretação dos sistemas abertos e interdependentes (STERMAN, 1994; STERMAN, 2000; MELE, *et al.*, 2010). Segundo essa teoria, não tem sentido analisar um sistema apenas em suas partes separadamente, mas sim, de forma integrada, uma vez que o funcionamento de uma parte é dependente da outra (MELE, *et al.*, 2010). Observa-se que o conceito nexus segue a mesma lógica proposta na TGS uma vez que considera os elementos água, energia e agricultura interdependentes. No sentido complementar, a ciência da complexidade, dentro do tema em estudo, compreende que esses elementos trabalham de forma interconectada em um sistema de redes complexas capazes de “aprender e adaptar-se, a partir de pressões ambientais” (STERMAN, 1994; PHELAN, 2001; CENTRE FOR COMPLEXITY SCIENCE, 2020).

Por envolver diferentes sistemas que se inter-relacionam, é possível perceber que o conceito nexus envolve uma grande quantidade de variáveis. Essas variáveis estão ligadas à diferentes temas centrais. Esses temas têm sido trazidos por diferentes autores, abordando diferentes associações entre eles. Diante disso, a Tabela 10 mostra a relação desses temas (compreendendo aproximadamente 25 itens centrais), selecionados com base na frequência com que eles aparecem nas publicações envolvendo a abordagem nexus. A tabela traz também as principais variáveis de composição de cada tema (elementos físicos, elementos sociais e pontos de interseção entre eles) e seu ano de origem. A ordem de apresentação dos temas na tabela seguiram a ordem apresentada no “Apêndice A” que traz os principais autores que citaram esses temas em seus estudos “nexus”.

Tabela 10: Lista dos principais temas associados à abordagem nexus relatados em estudos de diferentes autores

Tema central	Descrição	Variáveis	Ano origem
Desenvolvimento sustentável	Utilização dos recursos do presente sem comprometer o atendimento às futuras gerações (UNITED NATIONS, 1987). Compreende 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que representam os desafios globais que a sociedade enfrenta, incluindo aspectos relacionados aos setores de água, energia e produção de alimentos.	Elementos físicos: recursos naturais, atividades econômicas (indústria, agropecuária, mineração, etc.), resíduos sólidos, ecossistemas. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político, bem-estar social, nível de pobreza, aspectos demográficos (natalidade, mortalidade, migrações, população, etc.) Inter-relações: demanda, consumo, perdas, custo, impacto, planejamento, tecnologia, infra-estrutura, cooperação, trade-off, gestão, governança, taxa de crescimento e redução, economia, etc.	1972
Mudança climática	“Mudança de clima que possa ser direta ou indiretamente atribuída à atividade humana que altere a composição da atmosfera mundial e que se some àquela provocada pela variabilidade climática natural observada ao longo de períodos comparáveis” (BRASIL, 2009). Mudanças na frequência, intensidade, duração e temporização de eventos meteorológicos intensificando extremos climáticos (IPCC, 2012).	Elementos físicos: recursos naturais e atividades econômicas Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, modelo político econômico, etc. Inter-relações: disponibilidade, demanda, consumo, perdas, custo, impacto, planejamento, infra-estrutura, cooperação, trade-off, gestão, governança, economia, etc.	Década de 80
Segurança hídrica, energética e alimentar	Segurança hídrica, assegurar a disponibilidade de recursos hídricos adequados em quantidade e qualidade (GWP, 2012); segurança energética, disponibilidade ininterrupta de fontes de energia a preços acessíveis; e segurança alimentar, disponibilidade, acesso, estabilidade e consumo dos alimentos (LELE <i>et al.</i> 2013).	Elementos físicos: água, energia e alimento. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: disponibilidade, demanda, consumo, perdas, custo, impacto, tecnologia, infra-estrutura, política, gestão, governança, etc.	2000/ Década 60/ Década 70
Políticas públicas	“Trata-se de um fluxo de decisões públicas, orientado a manter o equilíbrio social ou a introduzir desequilíbrios destinados a modificar essa realidade” (SARAIVA & FERRAREZI, 2006).	Elementos físicos: recursos naturais, atividades econômicas, ecossistemas. Elementos sociais: legislações, atores, governo. Inter-relações: participação, cooperação, processo decisório, planejamento, etc.	-
Gestão Integrada de Recursos Hídricos	Processo que promove a gestão das águas em conjunto com os recursos relacionados a ela visando maximizar o bem-estar econômico e social de forma equitativa sem comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (GWP, 2000).	Elementos físicos: água e seus múltiplos usos. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: disponibilidade, demanda, consumo, perdas, custo, impacto, planejamento, infra-estrutura, cooperação, trade-off, governança, etc.	1992
Governança	Representa uma série de regras, práticas e políticas institucionais através das quais decisões são tomadas e implementadas (OECD, 2015). Essas decisões representam interesses dos diferentes níveis da sociedade de forma negociada e equitativa (OECD, 2015).	Elementos físicos: Água, recursos naturais. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: participação, planejamento, integração multissetorial e multinível, eficiência nos processos, economia, etc.	Década 90
Alocação de água	Processo de repartição dos recursos hídricos entre os diversos usos, o qual se configura como uma tomada de decisão no gerenciamento destes recursos, cuja finalidade é o fornecimento de água aos atuais e futuros usuários de uma bacia hidrográfica, em alinhamento com os objetivos estratégicos da gestão (ROA-GARCÍA, 2014; LOPES & FREITAS, 2007).	Elementos físicos: recursos hídricos (bacias hidrográficas) e seus múltiplos usos (abastecimento humano, irrigação, indústria, termelétrica, etc.). Elementos sociais: atores, instituições, políticas públicas, legislações, etc. Inter-relações: disponibilidade, demanda, balanço hídrico, perdas, prioridade, impactos, regras, etc.	-

Tabela 10: Continuação

Tema central	Descrição	Variáveis	Ano origem
Eficiência hídrica e energética	Eficiência hídrica está associada ao uso de tecnologias limpas que minimizem o consumo de água (WEF, 2011). Eficiência energética refere-se em reduzir o consumo de energia, para alcançar economia e reduções nas emissões de gases do efeito estufa (ERBACH, 2015). Logo, maior eficiência energética resulta em maiores cotas de energias renováveis (IRENA, 2015).	Elementos físicos: Água (saneamento e abastecimento humano), energia, atividades econômicas (indústria, agropecuária, mineração, etc.). Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: Tecnologia, planejamento estratégico, gestão, governança, economia, etc.	Década 70
Serviços Ecosistêmicos	Consistem em fluxos de materiais, energia e informações de estoques de capital natural para produzir bem-estar humano (COSTANZA <i>et al.</i> , 1997).	Elementos físicos: recursos naturais, ecossistemas. Elementos sociais: atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, etc. Inter-relações: consumo, demanda, manutenção, integridade ecológica, qualidade, adversidade, etc.	Década de 70
Operação de reservatório	Representa o planejamento operacional de funcionamento dos reservatórios com base em um conjunto de regras que são definidas no processo de gestão a partir das suas características físicas, hidráulicas, hidrológicas, climáticas e correspondentes ao atendimento às suas demandas (GIATTI <i>et al.</i> , 2016).	Elementos físicos: recursos hídricos e seus múltiplos usos (bacias hidrográficas). Elementos sociais: atores, instituições, políticas públicas, legislações, etc. Inter-relações: disponibilidade, demanda, balanço hídrico, perdas, prioridade, impactos, regras, etc.	-
Gestão Integrada de Recursos Naturais	Processo que incorpora múltiplos aspectos relacionados ao uso dos recursos naturais em um sistema integrado que visa maximizar o bem-estar econômico, social e ambiental (ROIDT & AVELLAN, 2019).	Elementos físicos: recursos naturais. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: disponibilidade, demanda, consumo, perdas, custo, impacto, planejamento, infra-estrutura, cooperação, trade-off, governança, etc.	Década 90
Economia Verde/ Desenvolvimento verde	Busca associar o desenvolvimento econômico ao mesmo tempo em que alcança a preservação do meio ambiente por meio do uso sustentável dos recursos naturais e inclusão social (ALLOUCHE <i>et al.</i> , 2015). Relacionado aos conceitos de PIB verde e capital natural.	Elementos físicos: recursos naturais, ecossistemas, atividades econômicas. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: economia, planejamento estratégico, demanda, consumo, taxas de crescimento, urbanização, globalização, etc.	2008
Resiliência	Gestão da capacidade dos sistemas socioecológicos lidarem com mudanças, ou seja, se adaptarem às adversidades ambientais (MATTHEWS & MCCARTNEY, 2017).	Elementos físicos: recursos naturais, ecossistemas. Elementos sociais: atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, etc. Inter-relações: mudanças climáticas, cooperação, etc.	1807
“Risco”	Probabilidade/Incerteza de ocorrência de um evento crítico em um ano qualquer. Definido por Frank Knight em 1921, risco implica em conhecimento baseado na probabilidade (mensurável), caso contrário, representa um fator desconhecimento ou uma incerteza sem sentido restrito (ALMEIDA, 2014).	Elementos físicos: Hidrológico, hidráulico, energético, alimentar, agrícola, climático, econômico, tecnológico, etc. Elementos sociais: gestão, governança, governo, legislações, atores, instituições, etc. Inter-relações: Avaliação de risco, método, tratamento, mitigação e economia.	1921
Gestão integrada de Resíduos Sólidos	Combinam todos os fluxos dos resíduos durante seu ciclo de vida, coleta, tratamento e método de disposição final com o objetivo de alcançar benefícios ambientais, otimização econômica e aceitabilidade social (ROIDT & AVELLAN, 2019).	Elementos físicos: atividades econômicas e seus resíduos gerados. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: disponibilidade, demanda, consumo, perdas, custo, impacto, planejamento, infra-estrutura, cooperação, trade-off, governança, etc.	-

Tabela 10: Continuação

Tema central	Descrição	Variáveis	Ano origem
Gestão adaptativa	Abordagem sistemática que visa melhorar o gerenciamento de recursos naturais para reduzir incertezas (RIST <i>et al.</i> , 2012). Em mudanças climáticas, esse termo refere-se em estratégias para aumentar a resiliência dos sistemas na intensificação das vulnerabilidades climáticas (RASUL & SHARMA, 2016).	Elementos físicos: recursos naturais, ecossistemas. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: mudanças climáticas, custo-benefício, eficiência nos processos, condição natural, estratégias, etc.	Década de 70
Pagamento por Serviços Ambientais	Mecanismo de mensuração dos serviços ecossistêmicos visando conservar os recursos naturais e a integridade dos ecossistemas (BÖRNER <i>et al.</i> , 2017).	Elementos físicos: recursos naturais, agricultura, ecossistemas. Elementos sociais: atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, etc. Inter-relações: compensação, trade-off, sinergia, economia, custo, conservação.	Década de 90
Economia Circular	Baseado nos conceitos cíclicos da natureza, economia circular refere-se ao reaproveitamento de produtos ao máximo de seu ciclo técnico e biológico, formando uma cadeia fechada, a partir da adoção de padrões de produção mais limpa (BERGENDAHL <i>et al.</i> , 2018; BALETA <i>et al.</i> , 2019).	Elementos físicos: Resíduos sólidos, recursos naturais, atividades econômicas (indústria, agropecuária, mineração, etc.) Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, governo, modelo político. Inter-relações: economia, planejamento estratégico, demanda, consumo, taxas de crescimento, urbanização, globalização, etc.	Década de 70
Produção sustentável	Utilização de alternativas que minimizem os impactos ambientais e sociais na produção de bens e serviços. Essas alternativas estão associadas ao alcance da eficiência hídrica e energética nos meios de produção (DELONGE & BASCHE, 2017).	Elementos físicos: recursos naturais, atividades econômicas Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições, ONG, etc. Inter-relações: demanda, consumo, perdas, custo, impacto, tecnologia, irrigação, tipos de culturas, manejo, tipos de produção industrial, conservação da água, etc.	Década de 80
Água virtual	Quantidade de água utilizada, de forma direta ou indireta, na produção de bens e serviços. Muito utilizada na terminologia de pegada hídrica (CHEN <i>et al.</i> , 2019; SALMORAL & YAN, 2018).	Elementos físicos: água nas atividades econômicas Elementos sociais: atores, instituições, legislações, políticas públicas, etc. Inter-relações: consumo, demanda, perdas, impacto, pegada hídrica, etc.	Década de 90
Globalização econômica	Interdependência das economias mundiais (nacional regional e local) a partir da intensificação das relações transfronteiriças de bens, serviços, pessoas, tecnologia e capital (ZHANG <i>et al.</i> , 2018; MCNALLY <i>et al.</i> , 2019).	Elementos físicos: recursos naturais, atividades econômicas, bens e serviços. Elementos sociais: modelo político econômico, variáveis econômicas, atores, instituições, etc. Inter-relações: economias, custo, perdas, relações transfronteiriças, tecnologia, urbanização, culturas, diversidade, etc.	Década de 80
Agroecologia	É a ciência que visa aplicar conceitos e princípios ecológicos no desenvolvimento de projetos e gestão do setor agropecuário para alcançar produções sustentáveis (DELONGE & BASCHE, 2017).	Elementos físicos: recursos naturais, agricultura. Elementos sociais: políticas públicas, legislações, atores, instituições públicas e privadas, ONG, etc. Inter-relações: demanda, consumo, perdas, custo, impacto, tecnologia, irrigação, tipos de culturas, manejo do solo, balanço climático, etc.	Década de 90

Fonte: Próprio autor

Todos os temas apresentados na Tabela 10 estão interligados direta ou indiretamente através de suas variáveis. Políticas públicas, por exemplo, envolve de alguma forma, todos os temas levantados, principalmente, por estar relacionado com modelos de gestão e sistemas de governança. Políticas públicas visa auxiliar no desenvolvimento e a implementação de diferentes planos, projetos e ideias que venham a surgir nas diferentes áreas governamentais. Isso implica que políticas públicas são essenciais para auxiliar na implementação dos princípios presentes no conceito nexus.

Modelos de gestão e sistemas de governança são outros dois pilares que compõem a base de implementação do conceito nexus. Esses modelos têm sido cada vez mais confrontados com as interferências das mudanças climáticas. Mudanças climáticas é um dos fatores que nortearam a origem do termo “nexus” por instabilizar os setores econômicos quanto às suas transações econômicas devido aos riscos de escassez dos recursos naturais. A escassez cada vez mais crescente tem mostrado que existe uma necessidade dos setores econômicos se adequarem à nova realidade, a partir do gerenciamento adaptativo e resiliente.

Atividades econômicas consomem água, energia, minerais e demais recursos necessários para seu funcionamento. Para a sociedade, essas atividades geram bens e serviços, para o meio ambiente, geram resíduos (sólidos, líquido e gasoso) no solo, ar e na água. A intensidade da geração de resíduos, o nível de tratamento que são processados, ou a falta dele, e o local de descarte final são alguns dos aspectos que intervêm na amplitude dos impactos repassados para os ecossistemas.

O tratamento desses resíduos possibilita, na maior parte dos casos, sua reutilização em novas cadeias produtivas de bens e serviços. Por exemplo, o consumo de água por indústrias possui um coeficiente de retorno em média de 20% (ANA, 2017c). Os efluentes gerados podem ser tratados a partir de diferentes tecnologias, variando conforme sua composição. Uma vez tratados, os efluentes podem retornar à sua cadeia de produção, serem lançados em um corpo receptor com uma carga poluente inferior, determinada nos padrões de lançamento, ou serem direcionados para outros usos. De forma semelhante ocorre com o consumo de água no abastecimento humano. Em média, o coeficiente de retorno corresponde à 80% (ABNT, 1982). O esgoto gerado por essa atividade pode ser encaminhado às estações de tratamento para redução de suas cargas poluentes. A depender do grau de tratamento (pré-tratamento, primário, secundário, terciário e tratamento avançado) e da eficiência nos processos operacionais, os efluentes conseguem ser reutilizados para vários tipos de usos, como por exemplo, irrigação e indústria.

Além disso, a configuração de algumas estações de tratamento ainda possibilita o aproveitamento energético do biogás, reduzindo, com isso, a emissão de gases para a atmosfera (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015; MOREIRA, 2017). Esse aproveitamento pode ser feito tanto no tratamento do esgoto, quanto no tratamento do lodo proveniente desse processo. O lodo também pode ser utilizado na agricultura como adubo (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015; MOREIRA, 2017). O sistema de aproveitamento do biogás pode ser desenvolvido tanto para plantas de tratamento de esgoto descentralizadas (comum em zonas rurais) quanto centralizadas (comum em zonas urbanas).

O mesmo ocorre para os resíduos sólidos. Os acúmulos crescentes de resíduos gerados por populações mundiais, associado às pressões nos aterros sanitários, ao aumento dos impactos ambientais por sua disposição inadequada e o conhecimento do longo tempo que leva para sua decomposição, direcionou várias regiões do mundo a desenvolverem diferentes tecnologias para reutilização desses resíduos. Com isso, passou-se a observar o valor econômico dos resíduos sólidos, o tornando hoje em dia uma fonte de renda e comércio para várias pessoas.

A economia circular, com base nos conceitos cíclicos da natureza, vem direcionando empresas a adotarem essa prática (BERGENDAHL *et al.*, 2018; BALETA *et al.*, 2019). Os avanços nas pesquisas e a participação das tecnologias de informação e comunicação têm proporcionado mudanças comportamentais e de hábitos da sociedade quanto aos resíduos sólidos, trazendo benefícios para o meio ambiente e aumento do comércio dos recicláveis.

Importante mencionar que todas as tecnologias de tratamento de resíduos (líquidos, sólidos e gasosos) consomem água e energia em alguma etapa de seu desenvolvimento. Em função disso, a redução das perdas intrínsecas nessas tecnologias, através de práticas de eficiência hídrica e energética, são essenciais para tornar esses processos viáveis.

Hoje em dia, a área tecnológica direcionada para tratamentos de efluentes industriais, esgoto, resíduos sólidos e emissões de gases está muito avançada, e vem crescendo ao longo dos anos. Esses avanços ocorrem em diferentes intensidades nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. A escassez de recursos naturais e o desencadeamento de instabilidades econômicas têm mostrado a necessidade de aumentar os investimentos em tecnologias limpas para suprir as demandas crescentes impulsionadas pela globalização econômica e projeções populacionais.

Com a demanda crescente, outras fontes de recursos têm ganhado espaço, à medida que se mostram necessárias. Isso vem ocorrendo de forma aparente na área de recursos hídricos, onde fontes de água não convencionais têm tomado espaço determinante no atendimento a diversos usos. Por exemplo, água proveniente de processos de dessalinização, sistemas de captação da água da chuva e água proveniente de reuso. Captação de água da chuva através de cisternas é uma tecnologia antiga, comum em regiões semiáridas. Porém, com o aumento da insegurança relacionado a falta de água, essa tecnologia tem se espalhado para várias outras regiões como sudeste do país. Quanto ao reuso, por questões principalmente econômicas e culturais, ainda não tem sido muito praticada no Brasil, mas ao longo do tempo, a tendência é que se torne uma fonte de recurso essencial como em outros países como em Israel e no Oriente Médio.

Avanços na área de dessalinização tem criado técnicas construtivas simplificadas, de baixo investimento, com utilização de energia solar para suprir suas demandas no processo. Furtado *et al.* (2014) traz um manual que ensina a construir um dessalinizador caseiro utilizando apenas a “luz do sol como fonte de energia que através da evaporação da água bruta a mesma vai condensar-se perdendo seus sais minerais no processo” (FURTADO *et al.* 2014).

As fontes de água não convencionais são características da proposta “nexus” que visa ampliar as fontes desse recurso para suprir às demandas e minimizar os impactos no meio ambiente. O instrumento de alocação de água, comum para água doce, deveria também iniciar um processo para inserir essas outras fontes. Encontrar meios para incentivar o interesse na utilização de água de reuso, por exemplo, e o tornar viável economicamente, deveria ser um ponto forte de discussão nas concessionárias de água e esgoto e na própria sociedade através de incentivos governamentais.

O governo é formado por uma grande quantidade de instituições, setores e ministérios. Todos esses ambientes são geridos por diferentes atores, que geralmente, possuem culturas, anseios e percepções diferentes que direcionam suas linhas de pensamento. Essas diferenças são levadas em consideração em um contexto de tomada de decisão. Decisões essas que tomada por um pequeno grupo de pessoas, resulta em interferências de diferentes níveis em toda população. Todas essas transações envolvem riscos de distintos tipos (econômicos, climáticos, social, etc.), planejamento territorial e econômico, cooperação entre instituições e entre jurisdições, compartilhamento de dados e sincronização de metas de desenvolvimento

(CHEN *et al.*, 2019). Muitas vezes, o modelo político atuante em um país não possui um caráter integrador com perspectivas de compartilhamento. Isso faz com que sejam estruturados sistemas e legislações descentralizadas e individualistas.

Praticar a individualização setorial em um meio onde os sistemas são complexos e altamente interligados ilustra, muitas vezes, os baixos níveis de governabilidade de um país. Com isso, os riscos aumentam e automaticamente são compartilhados em todos os setores correlacionados. Neste sentido, a avaliação e gestão de riscos tornou-se um ato normal, quase indispensável numa governança adequada (ALMEIDA, 2014). A escassez de recursos e as instabilidades têm aparecido intercaladas vezes em períodos de tempos mais curtos, trazendo consigo, uma aproximação forçada e necessária entre esses diferentes setores de estruturação governamental.

O conceito nexus surgiu exatamente em um período de crise econômica na Europa no ano de 2008 em um meio de empresários que se mostraram inseguros quanto às interferências da escassez hídrica em suas transações econômicas (LEESE & MEISCH, 2015), conforme abordado na revisão de literatura (Capítulo 2). Os questionamentos relacionados a sua inovação remetem exatamente na proposta de integração que já vem sendo debatida e testada na literatura por outros setores como, recursos hídricos e meio ambiente. No entanto, apesar desse termo possuir grandes semelhanças com outros conceitos já presentes na literatura, sua inovação circunda o fato dele interconectar todos os conceitos e ideias que cercam múltiplos setores econômicos, direcionando sua aplicação em modelos de planejamento e gestão especialmente por três meios:

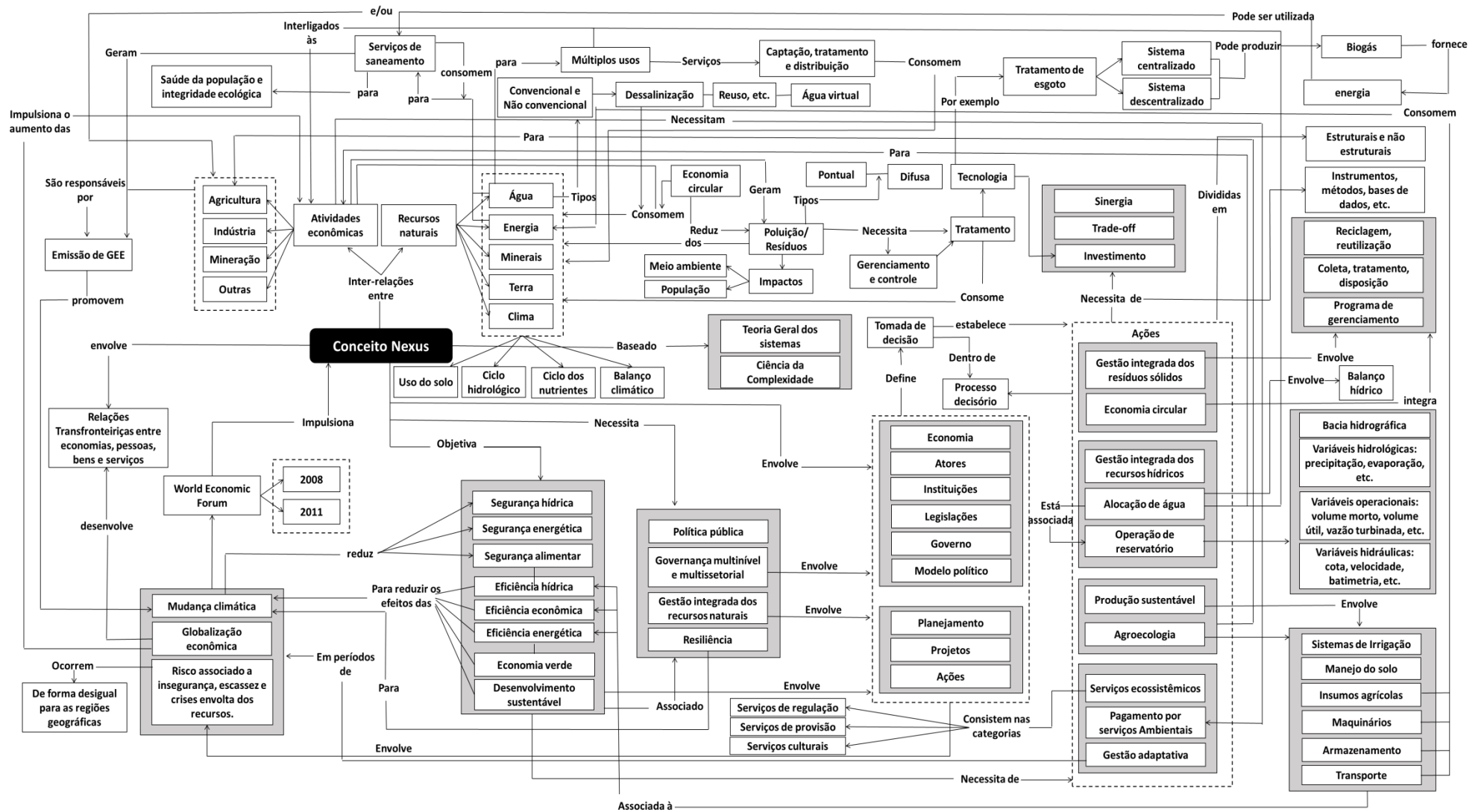
- (a) integrar todos os setores correlacionados por meio de um setor central que interligue desde informações e dados até projetos, planos e metas de forma consensual;
- (b) encontrar uma forma de integrar todos os setores, tendo a mesma proposta, porém, não exigindo a necessidade de criar um setor centralizador entre eles; ou
- (c) inicialmente, fomentar a integração dentro dos próprios setores, como a proposta da gestão integrada de recursos hídricos, e após seu fortalecimento e consolidação, visar integrar suas políticas públicas e trabalhar com capacitações de grupos decisores.

Cada governo deve analisar à melhor forma de integrar seus setores, os investimentos necessários e os benefícios que envolvem sua aplicação. Esses benefícios já têm sido analisados por diferentes autores na literatura englobando distintas realidades governamentais.

Deve-se frisar que todos os três meios apresentados retratam o compartilhamento das decisões, como trazido por Chen *et al.* (2019) para o caso dos projetos de transposição de água na China. Neste exemplo, assim como em outros, mostra que todos os setores que estão inter-relacionados através de projetos ou planos devem elaborar processos decisórios com a participação de representantes de todos os setores envolvidos.

A Figura 22 apresenta uma estrutura conceitual de representação das inter-relações entre os temas apresentados na Tabela 10 com a abordagem nexus. A estrutura foi elaborada com base na identificação dessas inter-relações nos artigos científicos mencionados no Apêndice A. Deve-se salientar que além das interligações identificadas, outras conexões são possíveis de serem desenvolvidas considerando as mesmas variáveis levantadas ou a partir da entrada de novas variáveis e conceitos na estrutura.

Figura 22: Estrutura conceitual para representar as inter-relações entre diferentes temas de composição do conceito nexus



Fonte: Próprio autor

A partir das relações descritas na Figura 22, é possível classificar os principais temas associados ao conceito nexus em quatro tipos (Tabela 11): (a) temas que impulsionaram a sua origem; (b) temas que representam seus objetivos/metapas; (c) temas que funcionam como base para seu desenvolvimento e implementação; e (d) temas que representam instrumentos para alcance de suas metas. Como ponto central de interseção entre todos esses itens, pode-se citar: a “segurança dos recursos naturais e manutenção dos ecossistemas para atender às demandas da própria sociedade e do meio ambiente”.

Tabela 11: Classificação dos temas (Tabela 10) quanto à sua participação no conceito nexus

Força Motriz - Impulsores	Objetivos	Requisitos - Base de sustentação e funcionamento
<ul style="list-style-type: none"> Mudança climática; Globalização econômica; Risco associado à insegurança, escassez e crises relacionadas aos recursos. 	<ul style="list-style-type: none"> Segurança hídrica; Segurança energética; Eficiência hídrica; Eficiência energética; Segurança alimentar; Desenvolvimento sustentável; Desenvolvimento/Economia verde; 	<ul style="list-style-type: none"> Política pública; Governança multinível e multissetorial; Resiliência.
Instrumentos/Ações		
<ul style="list-style-type: none"> Operação de reservatório; Alocação de água; Agroecologia; Água virtual; Produção sustentável; 	<ul style="list-style-type: none"> Serviços ecossistêmicos; Pagamento por serviços Ambientais; Economia circular; 	<ul style="list-style-type: none"> Gestão adaptativa; Gestão integrada dos resíduos sólidos; Gestão integrada dos recursos hídricos. Gestão integrada dos recursos naturais;

Fonte: Próprio autor

Observa-se que os instrumentos que são abordados dentro do conceito nexus são todos àqueles que diretamente ou indiretamente buscam alcançar os objetivos definidos. Logo, muitos outros instrumentos e ações, além dos que foram apresentados na Tabela 11, podem ser incluídos. A Tabela 12 complementa as discussões trazendo uma síntese das inter-relações que existem entre os temas abordados nas Tabelas 11 e 12.

Por exemplo, a agroecologia representa uma forma de produção sustentável, que visa a segurança alimentar, energética e hídrica. Para alcançar seus objetivos, a agroecologia utiliza técnicas de eficiência hídrica e energética nos processos produtivos. Seus princípios e técnicas são trabalhados no horizonte do desenvolvimento sustentável, economia circular e no contexto das mudanças climáticas por envolver ações que almejam reduções de emissões de GEE no setor agrícola. Políticas públicas voltadas para informação, comunicação e capacitação através de assistências técnicas rurais, são os pilares para alcançar maior difusão dessa técnica frente aos agricultores. Como pode-se perceber, todos os temas supracitados possuem relações diretas entre si.

Aproveitando o mesmo exemplo, pode-se apontar como relações indiretas, a agroecologia com a alocação de água e com a gestão integrada dos recursos hídricos, uma vez que a redução do consumo de água na produção agrícola implica em melhorias nos sistemas mencionados. Outras inter-relações dos temas apresentados na Tabela 12 seguem a mesma lógica de raciocínio.

Tabela 12: Associações direta e indireta entre temas abordados no conceito nexus

Nº	Temas	Agroecologia																										
			Produção sustentável	Segurança alimentar	Desenvolvimento sustentável	Mudança climática	Gestão integrada de resíduos sólidos	Serviços ecossistêmicos	Pagamento por Serviços Ambientais	Governança	Gestão integrada dos recursos naturais	Risco	Gestão adaptativa	Globalização	Resiliência	Política pública	Economia verde	Economia circular	Eficiência hídrica	Segurança hídrica	Operação de reservatório	Alocação de água	Gestão integrada de recursos hídricos	Água virtual	Eficiência energética	Segurança energética		
1	Agroecologia		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		
2	Produção sustentável			x	x	x	x	x	x	x	x		x		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x		
3	Segurança alimentar				x	x	x			x	x			x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x		
4	Desenvolvimento sustentável					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
5	Mudança climática						x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
6	Gestão integrada de resíduos sólidos							x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x		
7	Serviços ecossistêmicos								x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
8	Pagamento por Serviços Ambientais									x	x			x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
9	Governança multinível e multissetorial										x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
10	Gestão integrada dos recursos naturais											x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
11	Risco: Insegurança, escassez e crises dos recursos												x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
12	Gestão adaptativa													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
13	Globalização econômica														x	x	x	x		x			x			x		
14	Resiliência															x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		
15	Política pública																x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
16	Desenvolvimento/Economia verde																	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
17	Economia circular																		x	x	x	x	x	x	x	x		
18	Eficiência hídrica																			x	x	x	x	x	x	x		
19	Segurança hídrica																				x	x	x	x	x	x		
20	Operação de reservatório																					x	x		x	x		
21	Alocação de água																						x	x		x		
22	Gestão integrada de recursos hídricos																							x	x	x		
23	Água virtual																									x	x	
24	Eficiência energética																										x	
25	Segurança energética																											x

Fonte: Próprio autor

4.1.1.2 Tipo de abordagem

Os primeiros artigos que surgiram sobre a temática “nexus” representaram estudos meramente teóricos e empíricos (especialmente no período entre 2011 à 2013). Esses estudos eram realizados com a principal finalidade de caracterizar as interconexões existentes entre os sistemas de água, energia e alimento (HOFF, 2011; NANDURI & OTIENO, 2011; OLSSON, 2013; LUBEGA & FARID, 2013).

Ao longo do tempo, foram surgindo novos estudos que passou a considerar o aspecto quantitativo das interligações entre elementos nexus, sendo representado por estudos de casos (BAZILIAN *et al.*, 2011; SIDDIQI & ANADON, 2011; SCOTT, 2011). O avanço dos estudos quantitativos trouxe três principais pontos de discussão dos autores: (a) ferramentas e métodos capazes de representar e quantificar as interligações; (b) necessidade de desenvolver novas metodologias e ferramentas para avaliações mais complexas; e (c) delineamento de políticas setoriais e arranjos institucionais direcionados para à abordagem nexus. Esses três pontos têm sido desenvolvidos em várias regiões do mundo.

Estudo de caso é o tipo de abordagem que mais tem sido utilizado nas discussões sobre nexus, com 74% (225 de 304 artigos). Os estudos de casos de maior participação nos artigos têm contemplado, especialmente, dois tipos de análises: (a) mapeamento nexus que envolve o reconhecimento das inter-relações entre seus elementos para uma determinada localidade; e (b) projeções de cenários de planejamento. Os dois tipos mencionados são complementares. Ou seja, para o conceito nexus ser implementado em modelos de planejamento e gestão, ele deve antes ser testado, com base no conhecimento da realidade atual do território de abrangência, e deve apresentar projeções futuras que apontem suas vantagens e custos associados visando fomentar o interesse dos atores estratégicos.

Diferentemente dos estudos de casos, em menor porcentagem, foram classificados os artigos do tipo conceitual, com aproximadamente 26% de participação (79 de 304 artigos levantados). Apesar da predominância de estudos de casos, observa-se que 57% dos artigos revisados apresentaram um caráter qualitativo. Ou seja, abordaram o tema nexus em uma determinada área de estudo, porém, não utilizaram ferramentas ou métodos quantitativos. A tendência para trabalhos qualitativos são justificados mediante desafios que envolvem os três pontos de pesquisa definidos (a) a complexidade inerente na modelagem nexus; (b) limitações das estruturas dos métodos e modelos existentes; e (c) problemas de âmbito legal, institucional e de governança na passagem da teoria para a prática.

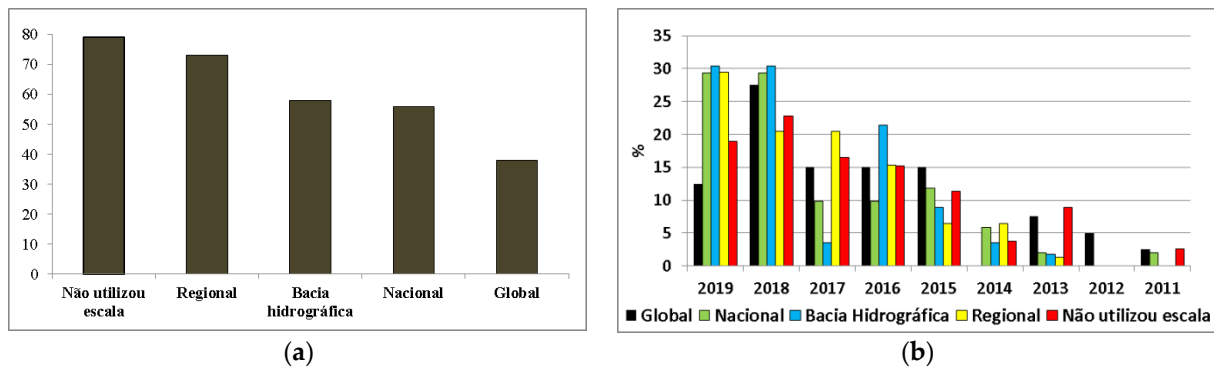
4.1.1.3 Escala geográfica

Os elementos nexus têm sido trabalhados e organizados em uma diversidade de escalas espaciais. À medida que avançam os estudos envolvendo esse tema, tem-se mostrado bastante desafiador definir limites espaciais que compreenda o gerenciamento e interações de todos seus elementos (LIU *et al.*, 2017; ZHANG *et al.*, 2018). A definição do limite apropriado representa um fator de grande relevância, considerando que os resultados de um determinado estudo estão diretamente associados a essa definição (ZHANG *et al.*, 2018). Neste caso, deve-se sempre considerar dois aspectos: Por um lado, microescalas, apesar de incorporar uma menor quantidade de variáveis, tende a acarretar em uma avaliação parcial do sistema por não considerar todas as interligações existentes. Por outro lado, macro-escalas possuem maior

quantidade de variáveis e processos, conseqüentemente, maior solicitação de dados, aumentando a complexidade das avaliações.

A Figura 23 apresenta as escalas espaciais que têm sido utilizadas nos estudos nexus. Como pode ser observado, os resultados apontam que 74% (224 do total de 304 artigos) utilizaram escala geográfica para 26% (79 do total de 304 artigos) que não utilizaram escala geográfica. Dentre os artigos que utilizaram escala, 24% corresponde à categoria regional, 19,1% para categoria de bacia hidrográfica, 18,4% para categoria nacional e 12,5% para categoria global.

Figura 23: Resultados: (a) número de artigos classificados por escala geográfica; (b) escala geográfica distribuídos por ano de publicação.



Fonte: Próprio autor.

A escala de bacia hidrográfica é usada com maior frequência no contexto de gestão de recursos hídricos, hidrologia, segurança hídrica e serviços ecossistêmicos. A escala global é usada principalmente em contextos de mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável. A escala regional/local está intimamente associada aos contextos de urbanização. Enquanto escala nacional destacam-se os contextos de segurança energética, hídrica e alimentar.

Existem alguns contextos que, embora trabalhem com micro escalas, são influenciados por macro escalas. Por exemplo, contextos econômicos, podendo citar a relação entre o preço do combustível e o preço dos alimentos (BAZILIAN *et al.*, 2011; RINGLER *et al.*, 2013). O aumento dos preços dos alimentos, geralmente definido para pequena escala (bacia hidrográfica, local e regional), sofre forte influência dos preços dos combustíveis, que geralmente estão associados às grandes escalas (global). Neste caso, algumas análises de interligações entre elementos nexus mostram que a definição de apenas um tipo de escala espacial pode não representar todo o sistema complexo de redes interligadas.

4.1.1.4 Elementos nexus

A quantidade de elementos presentes na estrutura nexus tem crescido consideravelmente, abrindo espaço para outras relações com a terra, nutrientes, clima, dentre outros (DAI *et al.*, 2018). Apesar desse progresso estar melhorando a resolução e a capacidade analítica das interações entre variáveis distintas, tem aumentado a demanda por informações. A falta de informações e a maior complexidade associada às complexas interações nexus tem dificultado a utilização de ferramentas de avaliação (DAI *et al.*, 2018). Em termos práticos, realizar avaliações conjuntas entre uma grande quantidade de variáveis que tem surgido tende a alcançar o que alguns autores chamam de “imaginário integrativo” (CAIRNS & KRZYWOSZYNSKA, 2016).

A Tabela 13 ilustra o levantamento dos principais arranjos entre elementos nexus identificados na revisão dos artigos. A porcentagem apresentada na terceira coluna da tabela foram calculados considerando a participação desses arranjos nos artigos analisados para o total da amostra de 304 artigos científicos (100%).

Tabela 13: Identificação dos arranjos entre diferentes elementos nexus

Tipo de arranjo		Sigla	%	Fonte
Água - Energia	Water–Energy	AE	13,8	Xie <i>et al.</i> (2017), Basheer & Elagib (2018), Wang <i>et al.</i> (2019)
Água-Alimento	Water–Food	AA	1	Jiang <i>et al.</i> (2017)
Ecosistema-Água	Ecosystem–Water	EA	0,3	Meisch <i>et al.</i> (2019)
Energia – Alimento - Água	Energy–Food–Water	EAA	66,6	Kilkis & Kilkis (2017), Salmoral & Yan (2018), Venghaus & Hake (2018), Walker <i>et al.</i> (2014)
Água-Energia-Clima	Water–Energy–Climate	AEC	1,3	Dale <i>et al.</i> (2015)
Água-Energia-Ecosistema	Water–Energy–Ecosystem	AEE	1,6	Urbaniec <i>et al.</i> (2017), Chen <i>et al.</i> (2019)
Água-Energia-Carbono	Water–Energy–Carbon	AEC	1,0	Gu <i>et al.</i> (2019)
Água - Nutrientes - Alimento	Water–Nutrient–Food	ANA	0,3	Mukhtar & Imran (2016)
Água-Terra-Alimento	Water–Land–Food	ATA	0,3	Liu <i>et al.</i> (2019)
Água-Energia-Economia	Water–Energy–Economic	AEE	0,3	Bekchanov & Lamers (2016)
Água-Energia-Ambiente	Water–Energy–Environmental	AEA	2,3	Baleta <i>et al.</i> (2019), Karlberg <i>et al.</i> (2015)
Água-Energia-Terra	Water–Energy–Land	AET	0,3	Castillo <i>et al.</i> (2019)
Energia-Água-Agricultura	Energy–Water–Agriculture	EAA	0,3	Sanders <i>et al.</i> (2016)
Água-Energia-Alimento–Saúde	Water–Energy–Food–Health	AEAS	0,3	Stedman <i>et al.</i> (2018)
Alimento-Energia-Água-Resíduos	Food–Energy–Water–Waste	AEAR	0,3	Garcia <i>et al.</i> (2019)
Água-Energia-Alimento-Meio Ambiente	Water–Energy–Food–Environment	AEAA	0,3	Udias <i>et al.</i> (2018)
Água-Energia-Alimento-Terra-Clima	Water–Energy–Food–Land–Climate	AEATC	0,3	Sušnik <i>et al.</i> (2018)
Água-Energia-Alimento-Ecosistema	Water–Energy–Food–Ecosystem	AEAE	3,6	De Strasser <i>et al.</i> (2016)
Água-Energia-Alimento-Terra	Water–Energy–Food–Land	AEAT	2,6	Ringler <i>et al.</i> (2013)
Água-Alimento-Nutrição-Saúde	Water–Food–Nutrition–Health	AANS	0,3	Mabhaudhi <i>et al.</i> (2016)
Água-Energia-Alimento-Clima	Water–Energy–Food–Climate	AEAC	1,6	Benson <i>et al.</i> (2015)
Água-Energia-Clima-Terra	Water–Energy–Climate–Land	AECT	0,7	Engström <i>et al.</i> (2019)
Água-Energia-Alimento-Terra-Ecosistema	Water–Energy–Food–Land–Ecosystem	AEATE	0,3	Karabulut <i>et al.</i> (2018)
Alimento-Água-Energia-Terra-Economia	Food–Water–Energy–Land–Economic	AAETE	0,3	Holt <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Próprio autor

Os elementos são interpretados e definidos de diferentes formas nas configurações dos estudos direcionados dentro da terminologia nexus. A “água” é o elemento que foi encontrado em todos os arranjos, seja presente na associação de dois ou mais elementos. As principais formas que esse elemento tem sido encontrado seguem basicamente duas definições: (a) recurso convencional (água superficial, chuva e água subterrânea) e não-convencional (água de dessalinização e águas residuais) (WICAKSONO *et al.*, 2017); e (b) água verde, água azul e água cinzenta (HOEKSTRA *et al.*, 2011; MEKONNEN & HOEKSTRA, 2014). Dentre as definições apresentadas, águas cinza, azul e verde, são muito abordadas no contexto da agricultura, na maior parte dos casos, associado ao consumo de água nos sistemas de produção agrícola (pegada hídrica). Uma definição que vem ganhando espaço dentro da abordagem nexus refere-se a água virtual. Esse termo tem sido empregado na sua relação com a geração de energia (CHEN *et al.*, 2019) e com o consumo dos alimentos (SALMORAL & YAN, 2018).

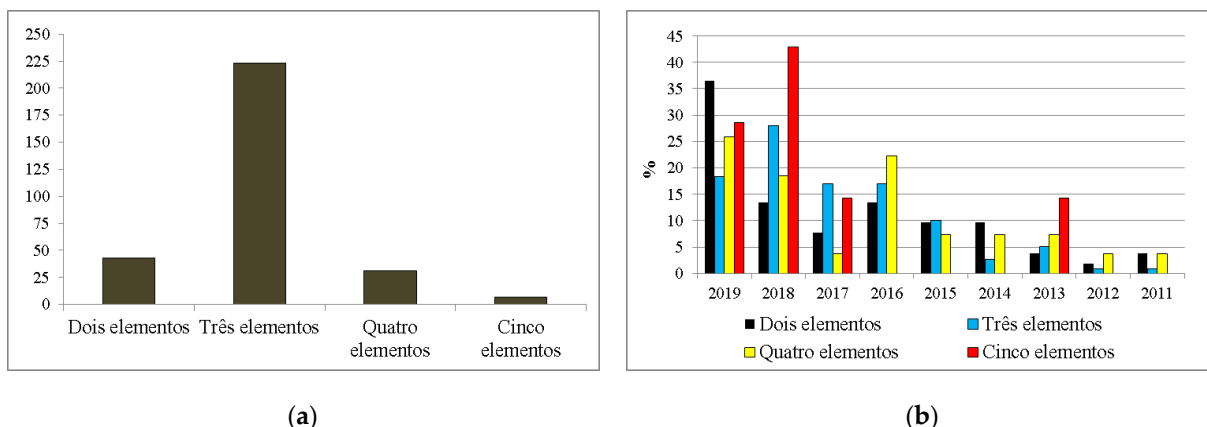
Quanto à “energia”, foi encontrado como o segundo elemento mais utilizado nos *links*. Sua definição tem sido associada aos serviços energéticos (geração, transmissão, e distribuição) para desenvolver as atividades de transporte, aquecimento, resfriamento e iluminação. A energia que corresponde à parte mecânica (trabalho) – potencial e cinética, e energia das ligações químicas (energia química) não são muito abordados nos estudos nexus. Dentre as tipologias de energia, a bioenergia tem-se destacado. Vários autores trazem a forte relação de competitividade da agricultura para produção de alimentos e para produção de bioenergias (CHANG *et al.*, 2016).

Alimento representa o terceiro elemento mais utilizado nos links. Ele tem sido abordado no âmbito das atividades agrícolas, muito associado à segurança alimentar. A pegada hídrica e pegada energética são métodos muito aplicados dentro dessa categoria.

Os demais elementos têm sido empregados com menor frequência nas discussões dos artigos. O ecossistema tem sido imposto por alguns autores como elemento central das interligações por ser responsável pela produção de água, energia e alimento, estando associado explicitamente aos serviços ecossistêmicos (KARABULUT *et al.*, 2016; HANES *et al.*, 2018). O clima é abordado em associação com as mudanças climáticas (HOWELLS *et al.*, 2013; DALE *et al.*, 2015). A terra, na maioria dos casos, é utilizada no contexto agrícola, atrelada à produção de bioenergia, uso do solo ou produção de alimentos (HOWELLS *et al.*, 2013; SUŠNIK *et al.*, 2018). Enquanto os nutrientes são atribuídos, em geral, aos insumos utilizados na agricultura (JARVIE *et al.*, 2015).

Dentre os arranjos entre diferentes elementos apontadas na Tabela 13, foi observado que o formato original (Água - Energia - Alimento) do conceito nexus foi encontrado em 66,6% dos artigos analisados (Figura 24). A segunda composição mais utilizada pelos estudos foi “Água - Energia” com 13,8% (42 de 304 artigos). Todas as demais composições têm sido abordadas com menor frequência. Importante destacar que os artigos que trabalharam com cinco elementos, a maior parte corresponde a estudos qualitativos, que não focaram na quantificação de suas interligações.

Figura 24: Resultados: (a) número de artigos classificados quanto ao critério tipo de elementos; (b) elementos nexus distribuídos por ano de publicação.



Fonte: Próprio autor

A composição de dois elementos está presente em todos os anos de publicação dos artigos revisados. Isso ocorre devido à maior simplicidade na quantificação e representação das interações entre dois elementos. Em contrapartida, os artigos que utilizaram cinco elementos correspondem principalmente a estudos qualitativos, estando essas publicações mais frequentes a partir do ano de 2017. Com o tempo, a complexidade que envolve integração de múltiplos elementos em um único sistema de avaliação tende a ser reduzido devido aos avanços nos estudos e ferramentas direcionadas para esse tema.

O critério “elementos nexus” representa a variável primária de qualquer estudo que contemple este tema, seja qualitativo ou quantitativo. Associações diferentes entre eles tendem a obter resultados distintos. Em alguns estudos, um determinado elemento era tendenciado a ter maior prioridade em relação aos outros para um contexto específico. Isso deve ser evitado, uma vez que o conceito nexus trabalha de forma multicêntrica, onde todos os elementos envolvidos devem ter o mesmo nível de relevância. Essa observação deve ser levada em consideração, bem como as diferentes visões de cada setor ao desenvolver procedimentos para aplicação dessa abordagem.

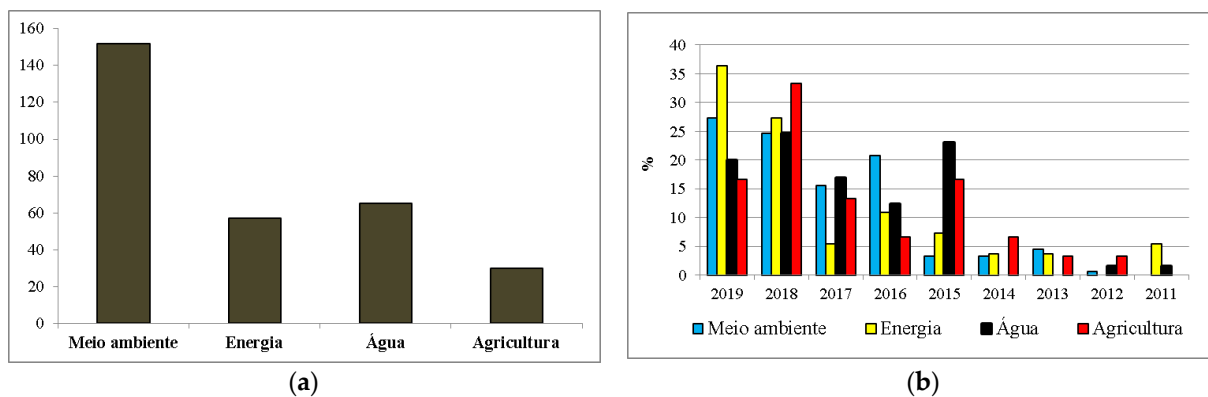
4.1.1.5 Contexto de aplicação

O contexto direciona o ponto central de investigação de um estudo nexus, sendo necessário ser definido nos procedimentos que envolvem seu desenvolvimento. Alterando o contexto, outras variáveis também tendem a ser alteradas, como por exemplo, a escala geográfica, elementos nexus, tipo de abordagem, dentre outros. Apesar de sua forte influência, qualquer estudo que contemple abordagem nexus deve sempre considerar como objetivo central: a identificação e avaliação das inter-relações entre seus elementos (recursos naturais, atividades econômicas, serviços e componentes setoriais) para propor cenários de planejamento integrado visando sua implementação em modelos de gestão multisetorial e multicêntrica.

Nos artigos revisados, foi possível perceber que o contexto que obteve a maior frequência de publicações foi a de meio ambiente (50 %), seguido por recursos hídricos (21%). Em sequência, sobressai a categoria de energia (20,2%), e com menor participação, a área de agricultura (10,1%) (Figura 25). Resultados semelhantes foram encontrados por Albrecht *et*

al. (2018) que descrevem uma assiduidade de artigos publicados em periódicos da área de meio ambiente.

Figura 25: Resultados: (a) número de artigos classificados por contexto; (b) contextos distribuídos por ano de publicação.



Fonte: Próprio autor

Para cada grande área do conhecimento apontada na Figura 25 foi encontrada uma grande variedade de temas associados à abordagem nexus.

Na área de “recursos hídricos”, a maior parte dos artigos englobou temas como operação de reservatórios (JALILOV *et al.*, 2016; BASHEER & ELAGIB, 2018; UEN *et al.*, 2018), alocação de água (BEKCHANOV & LAMERS, 2016), gestão integrada (MULLER, 2015), gestão integrada de bacias transfronteiriças (KESKINEN *et al.*, 2015; JALILOV *et al.*, 2015; DE STRASSER *et al.*, 2016; MARTIN-HURTADO *et al.*, 2017; BASHEER *et al.*, 2018), e construção de barragens e seus riscos associados (MATTHEWS & MCCARTNEY, 2017).

Na área de agricultura, foram contempladas questões como resíduos agrícolas (GARCIA & YOU, 2017), gestão de água na agricultura (KANG *et al.*, 2016; JIANG *et al.*, 2017), desperdícios de alimentos (KIBLER *et al.*, 2018), sistemas de irrigação (AHMAD & KHAN, 2016), agricultura sustentável (TIAN *et al.*, 2018), agroecologia (DELONGE & BASCHE, 2017), e papel do Fósforo (P) nas relações nexus (JARVIE *et al.*, 2015).

No setor de energia, foram abordadas questões como, bioenergia (ZHANG, 2013; PACETTI *et al.*, 2015; MOIOLI *et al.*, 2016; RULLI *et al.*, 2016; XIANG *et al.*, 2016; SILALERTRUKSA & GHEEWALA, 2018), consumo de água na produção de energia (DENOYER *et al.*, 2016), e impacto nos ecossistemas aquáticos mediante o lançamento de efluentes de termoeletricas (LOGAN & STILLWELL, 2018).

Na área de meio ambiente, foi encontrado a maior variedade de contextos trabalhados dentro da abordagem nexus, incluindo, economia circular (KILKIS & KILKIS, 2017; BERGENDAHL *et al.*, 2018; SCHNEIDER *et al.*, 2019; BALETA *et al.*, 2019), serviços ecossistêmicos (KARABULUT *et al.*, 2016; HANES *et al.*, 2018; KARABULUT *et al.*, 2018), economia verde (ALLOUCHE *et al.*, 2015), objetivos do desenvolvimento sustentável (BIGGS *et al.*, 2015; SALADINI *et al.*, 2018), governança (PORTNEY *et al.*, 2017; VENGHAUS & HAKE, 2018; PAHL-WOSTL, 2019) sistemas urbanos (WALKER *et al.*, 2014; GONDHALEKAR & RAMSAUER, 2016; LI *et al.*, 2019), interdependências entre água e energia em certificações ambientais (BECKEN & MCLENNAN, 2016), dentre outros.

Considerando os temas abordados em cada área, deve-se considerar que apesar do presente estudo não ter contemplado artigos de periódicos exclusivamente das áreas social, economia e geografia, pôde-se perceber que ambas as áreas compõem as discussões envolvendo o conceito nexus. De forma geral, os principais temas recorrentes nos artigos revisados correspondem a: “políticas setoriais” (SCOTT *et al.*, 2011; VENGHAUS & HAKE, 2018; PORTNEY *et al.*, 2018; KARABULUT *et al.*, 2019; MERCURE *et al.*, 2019), “economia” (SCHNEIDER *et al.*, 2019), “mudanças climáticas” (GRENADE *et al.*, 2016; BERARDY & CHESTER, 2017; MOMBLANCH *et al.*, 2019; SARKODIE *et al.*, 2019; ZENG *et al.*, 2019), “segurança hídrica, energética e alimentar” (BECK & WALKER, 2013; AL-SAIDI & ELAGIB, 2017), “crises e riscos” (MATTHEWS & MCCARTNEY, 2017; AMORIM *et al.*, 2018; HUSSIEN *et al.*, 2018), “desenvolvimento sustentável” (BALETA *et al.*, 2019; HAZARIKA & JANDL, 2019) e “governança” (ARTIOLI *et al.*, 2017; HUCKLEBERRY & POTTS, 2019; KALAIR *et al.*, 2019).

4.1.1.6 Tipo de método e ferramentas de avaliação

Esse critério representa um dos pontos mais discutidos por autores na literatura e possui extrema relevância para auxiliar no desenvolvimento de etapas de composição de um procedimento nexus. A análise dos artigos revelou que qualquer ferramenta capaz de avaliar dois ou mais sistemas (água, energia, alimento, terra, e demais elementos) de forma integrada pode ser empregado como ferramenta de avaliação nexus, desde que utilize sua abordagem.

Neste caso, é possível alinhar quatro tipos de estudos que envolvem esse critério: (a) trabalhos que têm testado ferramentas de diferentes áreas adaptando seu uso para contemplar a abordagem nexus (DALE *et al.*, 2015; AL-ANSARI *et al.*, 2015; PACETTI *et al.*, 2015; OZTURK, 2015) (b) autores que têm utilizado combinações entre diferentes ferramentas e métodos de âmbito qualitativo e quantitativo (KARLBERG *et al.*, 2015; ENDO *et al.*, 2017; YAO *et al.*, 2018); (c) estudos de revisão específicos para discussão de métodos e modelos de avaliação (DAI *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018; ALBRECHT *et al.*, 2018; SHANNAK *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2019; WILLET *et al.*, 2019; NAMANY *et al.*, 2019); e (d) pesquisas que têm apostado no desenvolvimento de novas ferramentas e métodos (AHMAD & KHAN, 2016; UEN *et al.*, 2018; SUSNIK, 2018), conforme já mencionado no item 4.1.1.2 (tipo de abordagem).

Independente do tipo de estudo desenvolvido pôde-se reconhecer que uma ferramenta nexus deve ser flexível, dinâmica, interativa e necessita representar e avaliar as relações entre os sistemas considerados devendo (MIRALLES-WILHELM, 2016): (a) ponderar o gerenciamento e regulação desses recursos; (b) auxiliar os tomadores de decisão a definirem estratégias de planejamento e políticas setoriais integradas; (c) permitir o desenvolvimento de cenários socioeconômicos; (d) subsidiar avaliações considerando os *trade-offs* e sinergias entre os múltiplos setores envolvidos; e (e) permitir análises que considerem a variabilidade de escalas espaciais e temporais presentes nos sistemas considerados. Na análise da literatura não foi identificado um modelo que abranja todos os aspectos sugeridos por Miralles-Wilhelm (2016). O que pode ser apontado até o momento são ferramentas que atendam a um ou mais aspectos citado. Em função disso, uma grande quantidade de ferramentas tem sido testada ou desenvolvida.

Os métodos e ferramentas de avaliação podem ser classificados como qualitativo, quantitativo ou quali-quantitativo. A categoria quantitativa obteve 46% de participação nos artigos revisados. Dentro dessa categoria, são incluídos: 39% para indicadores e índices; 32% para plataformas de modelagem matemática; 7% para modelos de fluxo de massa e energia; e 22% para outros métodos e ferramentas.

Os artigos que não utilizaram métodos ou ferramentas de avaliação representaram um total de 29% (88 de 304 artigos); a categoria quali-quantitativa ocupou a terceira posição, com 13% (39 dos 304 trabalhos), seguida pela categoria qualitativa com 12% (37 dos 304 trabalhos).

A Tabela 14 lista os principais métodos e ferramentas de avaliação identificadas nos artigos analisados e a Tabela 15 ilustra as principais características de alguns desses instrumentos. A terceira coluna da tabela 14 contém o cálculo da porcentagem encontrada na utilização de cada método e ferramenta de avaliação (qualitativa, quantitativa e quali-quantitativa). Para o cálculo da categoria quantitativa foi considerado a relação de 140 artigos como a porção total (100%), enquanto para a categoria qualitativa foi considerado 37 artigos (100%) e para a categoria quali-quantitativa, 39 artigos (100%).

Tabela 14: Principais métodos e ferramentas identificados na literatura.

Categoria	Tipo de método e ferramentas de avaliação	%	Fonte
Quantitativo	WEAP-LEAP - Water Evaluation and Planning system-Long-range Energy Alternatives Planning System	4,3	Dale <i>et al.</i> (2015)
	WEAP e indicadores	2,9	Karlberg <i>et al.</i> (2015), Sun <i>et al.</i> (2018), Momblanch <i>et al.</i> (2019), Amjath-Babu <i>et al.</i> (2019)
	CLEWS - Climate, land, energy, and water	1,4	Howells <i>et al.</i> (2013), Engström <i>et al.</i> (2019)
	MuSIASEM-Multi-Scale Integrated Analysis of Societal and Ecosystem Metabolism	0,7	Giampietro <i>et al.</i> (2013) *
	WEF Nexus Tool 2.0 AND Análise Input-output	0,7	Daher & Mohtar (2015)
	Nexus Assessment 1.0	0,7	Flammini <i>et al.</i> (2014) *
	PRIMA- Platform for Regional Integrated Modeling and Analysis	1,4	Kraucunas <i>et al.</i> (2015)
	SWAT- Soil and Water Assessment Tool AND Indicators	1,4	Karabulut <i>et al.</i> (2016)
	SEWEM- System-Wide Economic-Water-Energy Model	0,7	Bekchanov & Lamers (2016)
	MODFLOW- Modular finite-difference groundwater flow	0,7	Burnett <i>et al.</i> (2018)
	ACV: Análise do Ciclo de Vida	10,7	Salmoral & Yan (2018), Yan <i>et al.</i> (2018), Yuan <i>et al.</i> (2018), Quiroz-Arita <i>et al.</i> (2019)
	Pegada hídrica	6,4	Jiang <i>et al.</i> (2017), Zhang <i>et al.</i> (2017), Gush <i>et al.</i> (2019)
	Indicadores e índices	20,0	Keskinen <i>et al.</i> (2015), Ozturk (2015), Ozturk (2017), Saladini <i>et al.</i> (2018), Hailemariam <i>et al.</i> (2019), Xu <i>et al.</i> (2019)
	Pegada hídrica e ACV	1,4	Pacetti <i>et al.</i> (2015)
Análise Input-Output	16,4	Wang & Chen (2016), Fang & Chen (2017), White <i>et al.</i> (2018), Benites-Lazaro <i>et al.</i> (2018)	

Tabela 14: Continuação

Categoria	Tipo de método e ferramentas de avaliação	%	Fonte
Quantitativo	Método de análise multicritério	5,7	Hurford & Harou (2014), Parkinson <i>et al.</i> (2018)
	<i>Sankey Diagram</i>	7,1	Qin <i>et al.</i> (2015)
	Outros	17,4	Al-Ansari <i>et al.</i> (2015), Jalilov <i>et al.</i> (2015), Berardy & Chester (2017), Abdelkader <i>et al.</i> (2018), Basheer & Elagib (2018), Chen <i>et al.</i> (2019), Sarkodie <i>et al.</i> (2019), Zeng <i>et al.</i> (2019), Wicaksono & Kang (2019), Nawab <i>et al.</i> (2019)
Qualitativo	Aplicação de questionários e entrevistas	29,7	Karlberg <i>et al.</i> (2015), Endo <i>et al.</i> (2015), Pasqual <i>et al.</i> (2018), Garcia <i>et al.</i> (2019), Rodríguez-de-Francisco <i>et al.</i> (2019)
	Análise institucional	16,3	Villamayor-Tomas <i>et al.</i> (2015)
	<i>Workshops</i> e grupo focal	18,9	Howarth & Monasterolo (2016), Lawford (2019)
	Análise de discurso	10,8	Benites-Lazaro <i>et al.</i> (2018)
	Outros	24,3	Foran (2015), Hoolohan <i>et al.</i> (2018)
Qualitativo e quantitativo	Plataforma de modelagem e método qualitativo	25,6	Karlberg <i>et al.</i> (2015)
	Indicadores e método qualitativo	41	De Strasser <i>et al.</i> (2016)
	Pegada hídrica/energética e SIG**	2,6	Daccache <i>et al.</i> (2014)
	Outros	30,8	Endo <i>et al.</i> (2015), Guillaume <i>et al.</i> (2015), Smajgl <i>et al.</i> (2016), Wolfe <i>et al.</i> (2016)

Fonte: Próprio autor. * Corresponde a trabalhos técnicos. ** Sistema de Informação Geográfica

Tabela 15: Exemplos de alguns métodos e modelos capazes de avaliar as inter-relações entre elementos nexus

Método/ Modelo	Descrição	Origem	Tipo de Instrumento	Autores
AQUATOOL	Modelo integrado composto por um conjunto de <i>softwares</i> direcionados para o desenvolvimento e análise de sistemas de apoio à decisão em torno do planejamento e manejo de bacias hidrográficas. <i>Softwares</i> : SIMGES: Para simulação de manejo de bacias hidrográficas, ou complexos sistemas de recursos hidráulicos; OPTIGES: Para otimização do gerenciamento de sistemas de recursos hídricos e sistemas hidráulicos; GESCAL: Para simulação da qualidade da água; SIMRISK: Direcionado para cálculo de riscos envolvidos no gerenciamento dos sistemas de recursos hídricos e hidráulicos.	UPV - Universitat Politècnica de València	Plataforma de modelagem matemática	Solera <i>et al.</i> (2015), Arquiola <i>et al.</i> (2013), Álvarez <i>et al.</i> (1998), Álvarez <i>et al.</i> (2001), Álvarez <i>et al.</i> (2002)
Life Cycle Assessment	Método de avaliação de desempenho ambiental de um produto (bens e serviços) a partir do levantamento de dados de todo seu ciclo de vida (desde a aquisição da matéria-prima até a produção, uso, tratamento, reciclagem e disposição final).	Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)	Indicadores - Índices	De Laurentiis <i>et al.</i> (2016)
MuSIASEM	Ferramenta web (online) desenvolvida para avaliar padrões metabólicos de energia, alimentos e água relacionados às variáveis socioeconômicas e ecológicas em nível multiescalar. Engloba diversas ferramentas (por exemplo, modelagem hidrológica, pegada de carbono e pegada hídrica, balanço de massa) para quantificar os fluxos entre os sistemas considerados.	FAO	Plataforma de modelagem matemática	Mcgrane <i>et al.</i> (2018), Giampietro <i>et al.</i> (2013), Dai <i>et al.</i> (2018)
WATER FOOTPRINT	Representa um indicador de consumo de água doce tanto de forma direta quanto de forma indireta. O método quantifica o volume de água consumido para uma fonte definida e avalia o tipo de poluição gerada por esta fonte. Utilizam o conceito de água azul, verde, e cinza.	Hoekstra <i>et al.</i> (2011)	Indicadores - Índices	Hoekstra <i>et al.</i> (2011), Mekonnen & Hoekstra (2014)
SANKEY DIAGRAM	Diagrama utilizado para representar diferentes fluxos entre elementos através de organizações gráficas, onde esses fluxos são representados por setas, cuja largura indica a sua dimensão.	Nomeado em 1896 por Matthew Henry Phineas Riall Sankey	Balanço de fluxo de massa e energia	Schmidt (2008), USDOE (2014)
WEAP – LEAP	Modelos de simulação que realizam avaliações integradas para o planejamento dos recursos hídricos e planejamento energético a partir de diferentes cenários de desenvolvimento e mudanças climáticas.	SEI	Plataforma de modelagem matemática	SEI (2012)
WEF NEXUS TOOL 2.0	Representa uma plataforma web (online) projetada para quantificar as interações entre AEA e avaliar os recursos e estratégias em escala nacional. A quantidade de cenários permissíveis de serem criados é limitada e a avaliação e comparação entre os cenários podem ser conduzidos através do cálculo do índice de sustentabilidade.	Daher and Mohtar (2013)	Plataforma de modelagem matemática	Daher & Mohtar (2015), Dai <i>et al.</i> (2018), Mcgrane <i>et al.</i> (2018)

Tabela 15: Continuação

Método/ Modelo	Descrição	Origem	Tipo de Instrumento	Autores
Nexus Assessment 1.0	É uma ferramenta web (online) desenvolvida para avaliar as relações entre água, energia e alimento de forma qualitativa através da análise do contexto com a participação de Stakeholders e/ou quantitativa através de matrizes de análise e um conjunto de indicadores de sustentabilidade.	FAO	Plataforma de modelagem matemática	Flammini <i>et al.</i> (2014)
CLEWs	Desenvolvido para avaliar de forma integrada as relações entre os sistemas de terra, energia, clima e recursos hídricos para múltiplas escalas. Utiliza a plataforma de <i>software</i> OSeMOSYS (Open Source Energy Modeling System), sendo uma ferramenta de código aberto, para o planejamento energético de longo prazo. Sua estrutura é composta por três sub-modelos: WEAP, LEAP, e um modelo de uso da terra derivado do modelo de Zonas Agroecológicas (AEZ).	KTH Royal Institute of Technology na Suécia	Plataforma de modelagem matemática	Bazilian <i>et al.</i> (2011), Dai <i>et al.</i> (2018), Mcgrane <i>et al.</i> (2018), Howells <i>et al.</i> (2013)
PRIMA	Desenvolvida para simular as complexas interações entre clima, energia, água e terra nas escalas espaciais relevantes para a decisão. Esse software é baseado em modelos de código aberto por meio de uma interface de integração flexível e engloba as áreas de clima, hidrologia, agricultura, uso da terra, socioeconomia e sistemas energéticos.	Pacific National Laboratory National (PNNL)	Plataforma de modelagem matemática	Kraucunas <i>et al.</i> (2015), Dai <i>et al.</i> (2018)
Índice Pardee RAND Food-Energy-Water	Representa uma plataforma interativa online construída com base em três sub-índices: Notre Dame Global Adaptation Index (ND-GAIN); Environmental Performance Index (EPI); e Human Insecurity Index (HII). Possui por objetivo a avaliação do estado atual de segurança alimentar, hídrica e energética de uma nação e a sua prospecção para previsões de cenários futuros.	RAND Corporation	Índices	Willis <i>et al.</i> (2016)
Multi-Criteria Decision Analysis	Representam métodos de suporte à decisão, mundialmente utilizados por pesquisadores e gestores para resolução de problemas multidisciplinares e multiescalares. São organizados em formato de matrizes de avaliação e possuem em sua estrutura múltiplos critérios capazes de avaliar um conjunto de alternativas para alcançar a decisão mais próxima da ideal ou de melhor acordo. Alguns exemplos: <i>Analytic Hierarchy Process</i> (AHP), <i>Elimination et Choix Traduisant la Réalité</i> (ELECTRE), <i>Simple Additive Weighting</i> (SAW), e <i>Simple Product Weighting</i> (SPW).	Décadas de 1960 e 1970 Múltiplos autores	Método de Suporte à Decisão “Categoria Outros”	Hajkowicz & Collins (2007), Srdjevic <i>et al.</i> (2002), Roy (1996)
MCs e MMs	Modelos conceituais (MCs) são definidos como ferramentas gráficas para organizar e representar o conhecimento, através de conceitos e proposições. Mapas mentais (MMs) são desenvolvidos por associação entre ideias, de forma criativa, irrestrita e livre, representando o pensamento espontâneo de forma hierárquica (radial), em que qualquer ideia pode ser conectada a outra por meio de links.	MCs - Joseph Novak MMs - Tony Buzan	Métodos qualitativos	Novak & Canãs (2008), Kizilgol <i>et al.</i> , (2016), Davies, (2011)

Fonte: Próprio autor

Sankey Diagram foi originalmente nomeado em 1896 por Matthew Henry Phineas Riall Sankey, onde definiu o primeiro diagrama desse tipo para avaliar a eficiência térmica de motores a vapor (SCHMIDT, 2008; PELLICCIA *et al.*, 2016). Esse tipo de diagrama retrata fluxogramas de interações entre diferentes elementos, mais usualmente aplicado para descrever relações entre água e energia (USDOE, 2014), ou ilustrar o consumo de energia nos diferentes segmentos de usos da sociedade.

Para Schmidt (2008), o diagrama *Sankey* é um instrumento importante na identificação de ineficiências e potencial de economia ao lidar com recursos. Sua construção é baseada nos fluxos de entrada e saída de recursos de um determinado sistema, sendo esses fluxos representados por setas (SCHMIDT, 2008; USDOE, 2014).

Desde que foi definido, várias ferramentas de *softwares* foram criadas para construção destes tipos de diagramas. Além de *softwares*, existem vários *websites* que também possibilitam a sua construção gráfica. Alguns destaques para esses programas incluem: plataformas online (web) - *Sankey Diagram Generator* (Acquire Procurement Services); *Sankey Builder* (Rob Potschka); *wikiBudgets* (wikiBudgets); *Raw* (Density Design); *sankeymatic* (Steve Bogart); e construção através de *softwares* - *Sankey Editor* (Oliver Traun); *e!Sankey* (ifu - The Hamburg Institute for Environmental IT); *s.draw* (Altenburger Consulting); *Sankey Diagram Maker* (Hanny J. Berchmans).

Diferentemente do Diagrama Sankey, a ACV, segundo a ISO 14040, “estuda os aspectos ambientais e os impactos potenciais ao longo da vida de um produto (isto é, do “berço ao túmulo”), desde a aquisição da matéria-prima, passando por produção, uso e disposição” (ISO 14040). Para Campolina *et al.* (2015) e De Laurentiis *et al.* (2016) ACV é um instrumento da gestão ambiental que analisa os impactos ambientais gerados por um produto (bens e serviços) a partir do levantamento de dados de todo seu ciclo de vida (desde a aquisição da matéria-prima até a produção, uso, tratamento, reciclagem e disposição final) em especial, na etapa do Inventário do Ciclo de Vida (ICV).

Essa ferramenta tem sido uma das mais abordadas por pesquisadores envolvendo a temática nexus, em função especialmente de duas características (DE LAURENTIIS *et al.*, 2016; MANNAN *et al.*, 2018; KARABULUT *et al.*, 2018; SALMORAL & YAN, 2018; YUAN *et al.*, 2018): (a) permitir a identificação e avaliação de todos os insumos que compõem um ciclo de vida de um processo ou produto, auxiliando na avaliação dos fluxos entre eles; e (b) permitir a quantificação dos impactos ambientais correlacionados ao sistema em análise.

Existe uma grande variedade de *softwares* disponíveis para aplicação do método de ACV, alguns em destaque são: SimaPro (Empresa PRé Sustainability); GaBi (Empresa Thinkstep) Umberto NXT (Empresa ifu Hamburg GmbH); Quantis Suite (Empresa Quantis); OpenLCA (Empresa GreenDelta); BEES 3.0 (Engineering Laboratory); GREET (Argonne National Laboratory); e Regis (Empresa Sinum).

A *Water Footprint* representa um dos métodos mais simplificados dos instrumentos levantados na Tabela 15, em termos de solicitação de dados e método de cálculo. É ideal para avaliações envolvendo inter-relações entre seus elementos, desde que um desses elementos seja água (por exemplo, água-energia, água-alimento, etc.).

Esse método foi proposto no ano de 2002 por Hoekstra, representa um indicador de consumo de água doce tanto de forma direta quanto de forma indireta (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Todos os componentes de uma pegada hídrica são especificados geograficamente e temporalmente (HOEKSTRA *et al.*, 2011). Esse método pode ser aplicado para diferentes finalidades, contextos e escala, podendo citar a contabilização da pegada hídrica de: uma etapa de um processo; produto (representa a soma das pegadas hídricas das etapas dos

processos necessárias para produzir o produto, considerando toda a cadeia de produção e fornecimento); um consumidor (representa a soma das pegadas hídricas de todos os produtos consumidos pelo consumidor); grupos de consumidores; uma nação (a soma das pegadas hídricas de seus habitantes), município, unidade administrativa ou bacia hidrográfica; negócio (a soma das pegadas hídricas dos produtos finais gerados pelo negócio em questão); setor empresarial, dentre outros (HOEKSTRA *et al.*, 2011).

Dois documentos são referências para aplicação desse método, o manual de pegada hídrica de Hoekstra (2011) e a ISO 14.046 (Environmental management - Water footprint -Principles, requirements and guidelines) lançada em 2014. A maioria dos estudos relacionados à sua aplicação estão associados às áreas de produção animal (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2010), cultivos agrícolas (VERGÉ *et al.*, 2017; SANTIAGO *et al.*, 2017), área industrial (VIANA *et al.*, 2018), ou como indicador de sustentabilidade ambiental e instrumento de recursos hídricos (MARACAJÁ *et al.*, 2012). No contexto nexus destacam-se os estudos de Vanham (2016) e a continuação desse estudo em Vanham (2017), onde foi analisada a aplicação do método da Pegada hídrica nas inter-relações entre água, energia, alimento e ecossistema.

Dentre os modelos que representam plataformas de modelagem matemática, WEAP – LEAP simbolizam uma das ferramentas mais promissoras nas avaliações propostas na abordagem nexus voltados para planejamento de cenários de desenvolvimento por quatro razões: (a) consegue integrar diferentes sistemas (água, energia, alimento e clima); (b) solicita poucos dados de entrada; (c) possui uma interface amigável; (d) permite projeções de cenários de planejamento que possibilite avaliação das interferências das mudanças climáticas, projeção populacional dentre outros aspectos intervenientes nos múltiplos setores.

Dentro da mesma categoria de plataformas de modelagem, os modelos CLEWS e PRIMA são baseados em código aberto, e possibilitam a integração de vários modelos por meio de suas interfaces (BAZILIAN *et al.*, 2011; HOWELLS *et al.*, 2013; KRAUCUNAS *et al.*, 2015; DAI *et al.*, 2018; MCGRANE *et al.*, 2018). MuSIASEM é uma plataforma web (online) de simulação derivado da Teoria dos Sistemas Complexos e da Bioeconomia, como o modelo de fundos de fluxo, gramáticas multifuncionais e análise de *impredicative loop*, que permite a utilização simultânea de variáveis técnicas, econômicas, sociais, demográficas e ecológicas (HOWELLS *et al.*, 2013; MCGRANE *et al.*, 2018; DAI *et al.*, 2018). Embora represente uma estrutura viável de ser utilizada na abordagem nexus, possui muita complexidade em sua interface, dificuldade em estabelecer conexões entre os fluxos biofísico e econômico dos sistemas, além de solicitar uma grande quantidade de informações (DAI *et al.*, 2018).

WEF Nexus TOOL 2.0 e Nexus Assessment 1.0 são também plataformas web (online), no entanto, solicitam uma menor quantidade de informações. O WEF Nexus TOOL 2.0 embora projetado especificamente para avaliações integradas nexus, ele tem limitações devido principalmente a dois fatores: (a) possuir algumas informações fixas para um segmento específico, como tipos de culturas agrícolas; e (b) por não possuir muita flexibilidade em sua interface. Isso ocorre porque o modelo foi projetado para ser usado especificamente no país do Catar, portanto, seu uso é restrito a diferentes contextos e escalas (MCGRANE *et al.*, 2018).

Além dos instrumentos identificados na literatura associados a essa temática, o presente estudo acrescenta dois instrumentos, por considerar suas aplicações promissoras: Modelo AQUATOOL e modelos conceituais/mentais. AQUATOOL foi desenvolvido pela Universitat Politècnica de València (UPV), é composto por um conjunto de *softwares* direcionados para o desenvolvimento e análise de sistemas de apoio à decisão em torno do planejamento e manejo de bacias hidrográficas. É uma ferramenta pertinente para avaliações integradas, considerando

a interligação existente entre todos os seus *softwares*. Uma das grandes vantagens associadas à esse modelo refere-se a possibilidade de realizar análises de risco nos cenários de planejamento de bacias hidrográficas.

Quanto aos Modelos Conceituais (MCs), frequente no contexto social, foi desenvolvido originalmente por Joseph Novak, são ferramentas gráficas para organizar e representar diferentes conceitos (NOVAK & CAÑAS 2008). Mapas mentais (MMs), originalmente desenvolvidos por Tony Buzan, funcionam como um sistema organizacional de diferentes ideias em torno de um tema central (BUZAN, 2005; KIZILGOL *et al.*, 2016; DAVIES, 2011). Por suas características, ambos os métodos são muito importantes para auxiliar na estruturação das informações que envolvem a abordagem nexus (BUZAN, 2005; NOVAK & CAÑAS, 2008).

Outros métodos e instrumentos inseridos no contexto social incluem plataformas online, construção de oficinas, reuniões de curto prazo, conferências, criação de mapas cognitivos, análise de discurso, questionários, dentre outros (EEA, 2014). Essas ferramentas têm sido abordadas pela União Europeia de forma crescente visando ampliar a participação social na gestão dos recursos como relata o estudo da EEA (2014) através de oito estudos de casos no âmbito da gestão das águas. Os instrumentos e metodologias de participação social tem sido cada vez mais visado dentro do cenário de implementação da abordagem nexus. Tem-se observado que a utilização de plataformas online é vista por alguns órgãos gestores como uma solução para a ampliação e troca das informações de um determinado tema em debate e possibilita uma maior transparência no processo perante a sociedade.

Limitações envolvendo a modelagem nexus

Todos os modelos revisados no presente estudo apresentam limitações e restrições que estão associadas às especificidades inerentes a cada ferramenta ou método. Além da condição de cada modelo, as limitações em seu uso também estão associadas à quantidade de informações disponíveis presentes na linha de interesse. A literatura aponta que as principais limitações associadas à modelagem nexus envolve cinco aspectos: (a) complexidade existente ao considerar os três recursos e suas interações dinâmicas, simultaneamente em um único modelo (HUSSEY & PITTOCK, 2012; SHANNAK *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018; ALBRECHT *et al.*, 2018); (b) modelos capazes de traduzir as várias categorias de métricas que envolvem os sistemas de água, energia e alimento e as variáveis correlacionadas a cada uma delas (KING & CARBAJALES-DALE, 2016; ZHANG *et al.*, 2018); (c) bancos de dados suficientes para subsidiar avaliações integradas (SHANNAK *et al.*, 2018; ZHANG *et al.*, 2018; ALBRECHT *et al.*, 2018; EMBID & MARTÍN, 2018); (d) limite espacial do sistema a ser modelado (ZHANG *et al.*, 2018); e (e) necessidade de uma modelagem interdisciplinar que combine avaliações qualitativas e quantitativas (ALBRECHT *et al.*, 2018).

Considerando os aspectos abordados na literatura, essa pesquisa acrescenta algumas reflexões, visando contribuir para a área em questão:

- (a) Não é pertinente modelar um sistema que ainda não possui um modelo conceitual definido, o que gera muitas incertezas sobre sua representatividade;
- (b) Para uma modelagem nexus é indicado restringir os elementos centrais a serem representados em sua estrutura, e deixar explícito os elementos secundários correlacionados, uma vez que conseguir realizar uma quantificação considerando todos os elementos (água, energia, alimento, ecossistema, nutrientes, dentre outros) que tem surgido na literatura de forma primária (central) em um único modelo, até o momento, não é tangível. Neste caso, pode-se pensar em uma avaliação utilizando um conjunto de ferramentas integradas em

cadeia, onde o resultado de um modelo é inserido como entrada para outro, assim sucessivamente (ZHANG *et al.*, 2018; ALBRECHT *et al.*, 2018; NHAMO *et al.*, 2018);

(c) Deve-se considerar que um modelo nexus de representatividade global tende a ser difícil de ser alcançado nos dias atuais devido a falta de linearidade das informações, diferenças significativas nos sistemas de gestão setorial e fortes divergências política e econômica;

(d) Deve-se verificar a real necessidade de elaboração de um novo *software* para representar as interligações dos elementos nexus mediante a realidade que se deseja reproduzir, sendo que, um sistema bem delimitado pode ser quantificado utilizando um conjunto de ferramentas propícias, conforme mencionado no item (b);

(e) Para auxiliar uma modelagem nexus é oportuno pensar na construção de um banco de dados compartilhado, acessível, confiável, e nivelado quanto ao tipo e à qualidade das informações, conforme apontado na literatura. A carência de informações, ou a falta de nivelamento entre elas, é sem dúvida, um dos maiores obstáculos para a sistematização de uma modelagem;

(f) Esta pesquisa acredita ser imprescindível a utilização de ferramentas de Sistema de Informação geográfica (SIG) nas avaliações nexus. Ferramentas de SIG possibilitam uma maior discretização de escalas espaciais. Ou seja, informações que representam macro escalas podem ser convertidas para representar micro escalas. Para isso, basta as informações estarem especializadas;

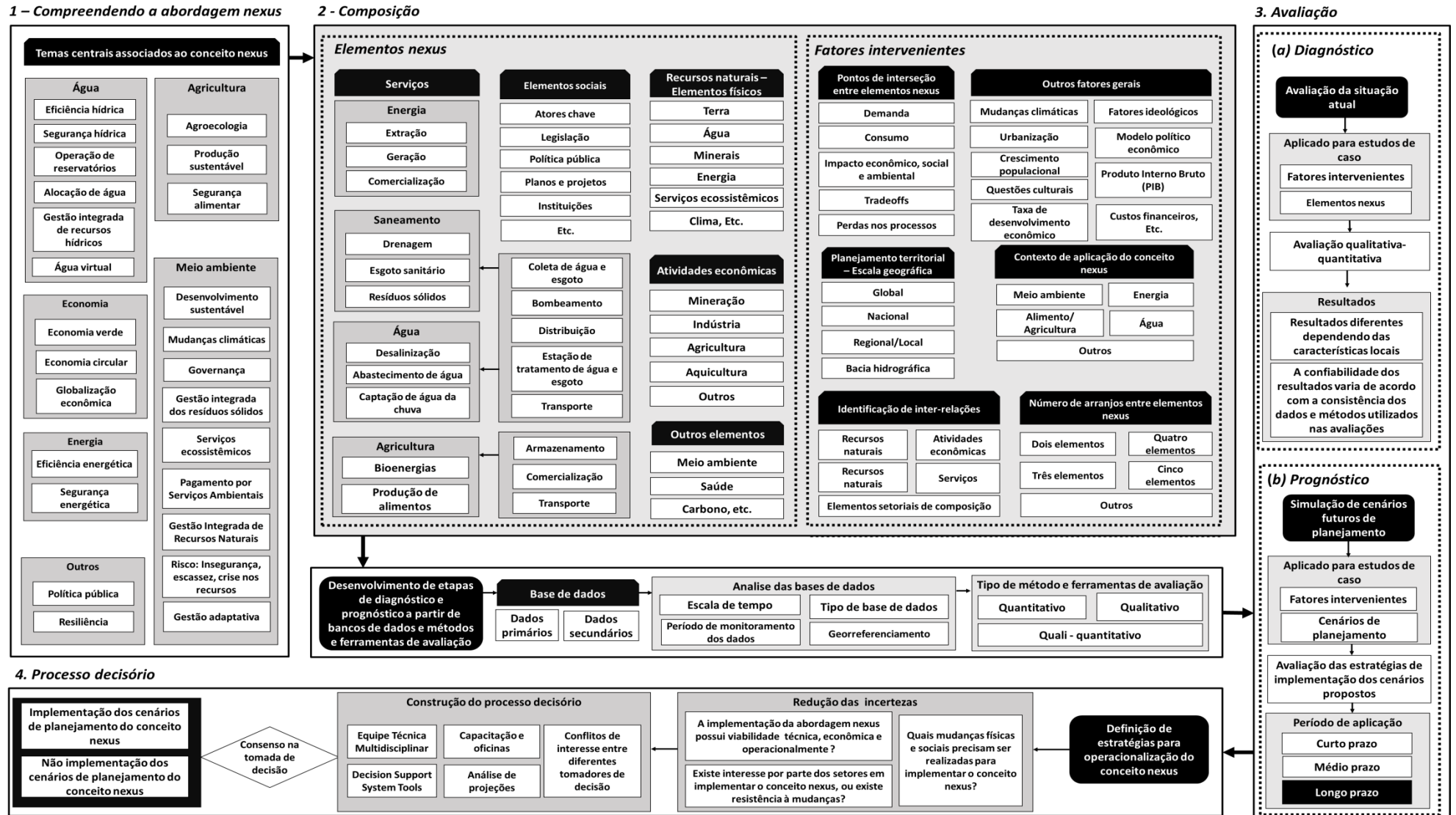
(g) Por último, é importante salientar que algumas limitações nos estudos direcionados para modelagem nexus só podem ser identificadas à medida que é conduzida a modelação dos sistemas. Outro ponto em destaque é que mesmo que essas limitações sejam sanadas, ao longo do tempo, ainda não se tem evidências das vantagens intrínsecas na implementação do conceito nexus em termos mais práticos. Sendo assim, outros desafios tenderão a surgir em maior significância.

4.1.2 Procedimento sistemático de representação do “conceito nexus”

A revisão dos artigos apontou para várias possibilidades de utilização do conceito nexus. Apesar da grande diversidade encontrada, foi possível verificar que existe um padrão nas publicações envolvendo esse tema que se repete a cada aplicação, alterando apenas suas variáveis, como escala geográfica, contexto, elementos, métodos e ferramentas de avaliação. A padronização identificada auxiliou na proposição de etapas de representação do conceito nexus de forma organizacional através de um procedimento sistemático (Figura 26/Tabela 16) composto por quatro fases: compreensão do conceito nexus; identificação de variáveis e fatores intervenientes; avaliação (diagnóstico/prognóstico); e processo decisório.

A Tabela 16 apresenta as etapas de composição do procedimento proposto e traz a relação dos principais artigos que nortearam sua construção. É importante observar que: (a) Os conceitos associados à abordagem nexus, que compõem a primeira etapa do procedimento, estão presentes na maioria dos artigos analisados, especialmente, àqueles classificados como conceituais (teóricos); (b) A etapa de composição foi definida em função dos artigos que apresentam discussões focadas principalmente no planejamento territorial, interações entre elementos nexus e seus fatores intervenientes; (c) A maioria dos artigos inseridos na etapa de prognóstico (construção e análise de cenário de planejamento) também inclui a etapa de diagnóstico; e (d) Os artigos utilizados como base para a última etapa do procedimento, “processo decisório”, são estudos de caso que se concentraram especialmente em processos de tomada de decisão.

Figura 26: Mapa mental das principais variáveis e informações que envolvem o conceito nexus



Fonte: Próprio autor

Tabela 16: Padronização das etapas de composição do procedimento sistemático para desenvolvimento do conceito de nexus

Questões de Pesquisa	1 – Compreendendo o conceito nexus	Descrição	Método e Ferramentas de Avaliação	Principais autores que nortearam o desenvolvimento das etapas
Quais são os conceitos associados à abordagem nexus? Existe um modelo conceitual nexus? Se não, como ele pode ser elaborado? Quais são as relações entre os diferentes temas levantados com à abordagem nexus?	Revisão de literatura	Estado da arte	MCs e MMs	Beck & Walker (2013), Bizikova <i>et al.</i> (2013), Ringler <i>et al.</i> (2013), Allouche <i>et al.</i> (2015), Benson <i>et al.</i> (2015), Biggs <i>et al.</i> (2015), Abdullaev & Rakhmatullaev (2016), Cairns & Krzywoszynska (2016), Smajgl <i>et al.</i> (2016), Al-Saidi & Elagi (2017), Wichelns (2017), Wicaksono <i>et al.</i> (2017), Zhang <i>et al.</i> (2017), Amorim <i>et al.</i> (2018), Kibler <i>et al.</i> (2018), Baleta <i>et al.</i> (2019), Zhang <i>et al.</i> (2019)
	Identificação de conceitos associados	Identificação e caracterização dos principais temas associados à abordagem nexus		
	Definir relações entre conceitos	Identificação de links entre conceitos		
Resultado esperado	Apresentação de um modelo conceitual de representação do conceito nexus			
Questões de Pesquisa	2 - Composição	Descrição	Método e Ferramentas de Avaliação	Principais autores que nortearam o desenvolvimento das etapas
Quais são os elementos que compõem uma abordagem nexus? Quais são os principais fatores que interferem nas inter-relações entre eles? Quais são as interligações existentes entre eles? Qual a escala geográfica?	Planejamento territorial	Definição da escala geográfica para desenvolvimento do conceito nexus	Ferramentas SIG, Métodos de análise multicritério	Bazilian <i>et al.</i> (2011), Beck & Walker (2013), Bizikova <i>et al.</i> (2013), Biggs <i>et al.</i> (2015), Abdullaev & Rakhmatullaev (2016), Chang <i>et al.</i> (2016), Bijl <i>et al.</i> (2018), Amorim <i>et al.</i> (2018), Karabulut <i>et al.</i> (2018)
	Definição dos elementos nexus	Definição dos elementos sociais (atores, políticas públicas, planos, programas, projetos e ações)		
	Definição de Fatores de Intervenção	Definição de elementos físicos (recursos naturais, atividades econômicas e serviços)		
	Definição das interligações	Definição dos fatores que interferem nas inter-relações entre elementos nexus		
	Definição das interligações	Identificação das inter- relações entre elementos definidos		
Resultado esperado	Identificação dos elementos de composição do conceito nexus e suas inter-relações			
Questões de Pesquisa	3.1 - Diagnóstico	Descrição	Método e Ferramentas de Avaliação	Principais autores que nortearam o desenvolvimento das etapas
Existem bases de dados suficientes para auxiliar no desenvolvimento de estudos nexus? Como será elaborado o diagnóstico? Que métodos e ferramentas serão necessários?	Identificação e análise de bases de dados setoriais	Identificação das bases de dados setoriais disponíveis	Métodos estatísticos, ferramentas de SIG, plataformas de modelagem matemática;	Bazilian <i>et al.</i> (2011), Endo <i>et al.</i> (2015), Al-Saidi & Elagi (2017), Fang & Chen (2017), Kaddoura & Khatib (2017), Wicaksono <i>et al.</i> (2017), Albrecht <i>et al.</i> (2018), Zhang <i>et al.</i> (2018), Dai <i>et al.</i> (2018), Hussien <i>et al.</i> (2018) Brouwer <i>et al.</i> (2018), Baleta <i>et al.</i> (2019), Dargin <i>et al.</i> (2019)
		Coleta de dados primários “in loco”		
	Definição dos métodos e ferramentas de avaliação	Consistência e análise das informações coletadas nas bases de dados setoriais e das informações coletadas em campo		
	Caracterização	Seleção dos métodos e ferramentas capazes de auxiliar na concretização do diagnóstico		
	Caracterização	Análise dos setores de água, energia e agricultura		

Tabela 16: Continuação

Para os elementos sociais, as legislações e as instituições possuem estrutura para atender as características propostas em uma abordagem nexus?	Reconhecimento	Avaliação das inter-relações entre elementos sociais e avaliação das inter-relações entre os elementos físicos	indicadores e índices; métodos qualitativos	Dacchace <i>et al.</i> (2014), Dale <i>et al.</i> (2015), Karlberg <i>et al.</i> (2015), Qin <i>et al.</i> (2015), Jalilov <i>et al.</i> (2016), Karabulut <i>et al.</i> (2016), Endo <i>et al.</i> (2017), Pueppke <i>et al.</i> (2018), Stein <i>et al.</i> (2018), Sun <i>et al.</i> (2018), Abdelkader <i>et al.</i> (2018), Venghaus & Hake (2018), Portney <i>et al.</i> (2018)
Resultado esperado	Mapeamento atual das inter-relações entre os elementos definidos			
Questões de Pesquisa	3.2 - Prognóstico (construção e projeção de cenários de planejamento)	Descrição	Método e Ferramentas de Avaliação	Principais autores que nortearam o desenvolvimento das etapas
Quais informações são necessárias? Qual o cenário de referência? Que métodos e ferramentas serão necessários? Quais são os cenários das projeções? Como eles serão construídos?	Definição de cenários de planejamento	Projeção das inter-relações entre elementos físicos considerando todos os fatores intervenientes (crescimento populacional, mudanças climáticas, etc.) Projeção das inter-relações entre elementos sociais (organização e funcionamento de instituições e atores, marcos regulatórios para atender às premissas do conceito nexus, etc.)	Plataformas de modelagem matemática; indicadores e índices; métodos qualitativos	Dacchace <i>et al.</i> (2014), Dale <i>et al.</i> (2015), Jalilov <i>et al.</i> (2015), Karlberg <i>et al.</i> (2015), DeNooyer <i>et al.</i> (2016), Jalilov <i>et al.</i> (2016), Sun <i>et al.</i> (2018), Karabulut <i>et al.</i> (2018), Hanes <i>et al.</i> (2018), Zhou <i>et al.</i> (2019), Zeng <i>et al.</i> (2019), Amjath-Babu <i>et al.</i> (2019)
	Definição de métodos e ferramentas de avaliação	Definição de métodos e ferramentas para auxiliar no prognóstico		
	Proposição de metas	Definição de estratégias para implementar os cenários propostos mediante um período de tempo determinado		
	Análise e gestão dos riscos compartilhados para todos os cenários propostos			
	Prospecção de cenários de planejamento “nexus” para uma área de estudo. Comparar os resultados do cenário de referência (diagnóstico – cenário atual) com os cenários de projeção (prognóstico). Apontar na análise comparativa as vantagens e desvantagens para os múltiplos setores envolvidos.			
Resultado esperado				
Questões de Pesquisa	5 - Processo decisório	Descrição	Método e Ferramentas de Avaliação	Principais autores que nortearam o desenvolvimento das etapas
Quem são os atores-chave no processo? Eles estão capacitados para avaliar os cenários propostos? A implementação dos cenários propostos foram bem aceitos? Qual a viabilidade técnica, operacional e econômica dos cenários propostos?	Definição dos atores - chave	Definição dos principais intervenientes na tomada de decisões	Ferramenta de Apoio à Decisão, métodos de análise multicritério e métodos qualitativos	Hurford & Harou (2014), Parkinson <i>et al.</i> (2018), Tian <i>et al.</i> (2018)
	Análise dos decisores	Análise do perfil dos atores constituintes do processo de decisão		
	Capacitação	Realização de oficinas de treinamento para auxiliar os tomadores de decisão a compreender o tema em questão. É ideal que a capacitação ocorra durante todo andamento do processo e de forma contínua.		
	Tomada de decisão	Apresentação de estratégias para atores-chave e tomada de decisão sobre a aplicação ou não do conceito nexus.		
Plano de ação	Definição do planejamento das ações a serem implementadas			
Resultado esperado	Consenso na decisão sobre a implementação ou não implementação do conceito nexus nos modelos de planejamento e gestão			

Fonte: Próprio autor

A primeira parte do procedimento trata do conhecimento do tema em estudo. Para isso, é necessário identificar os conceitos que estão associados ao seu desenvolvimento e aplicação. Os principais conceitos já foram identificados na seção 4.1.1.1 (Conceito nexus) e na Figura 26 e suas inter-relações já foram conduzidas através da estrutura conceitual apontada na Figura 22. A principal finalidade desta etapa é auxiliar na elaboração de estruturas e modelos conceituais voltados para abordagem nexus. Considerando esse objetivo, deve-se frisar que não é necessário utilizar essa fase todas as vezes que for iniciada uma aplicação do procedimento. Isso porque uma vez elaborado as estruturas e modelos, não há necessidade de ser desenvolvido novamente, desde que todos os pontos de interesse envolvendo esse tema seja considerado no seu processo construtivo.

A segunda etapa envolve o levantamento das variáveis de composição. As variáveis são divididas em elementos nexus e fatores intervenientes. Elementos nexus correspondem aos recursos naturais, atividades econômicas, serviços e componentes sociais (atores, instituições, políticas, etc.). Fatores intervenientes são aspectos que possuem interferência nas inter-relações entre esses elementos, como por exemplo, mudanças climáticas, escala geográfica, contexto, crescimento populacional, dentre outros. Logo, os resultados alcançados nas avaliações dos artigos referentes aos critérios de investigação foram essenciais para sintetização e organização desta etapa.

Nesta mesma fase, é determinado também a escala geográfica (global, nacional, regional e bacia hidrográfica) de aplicação e as inter-relações entre os elementos nexus que se deseja avaliar. A escala é determinante para a aplicação do procedimento, uma vez que ela determina seu próprio limite de abrangência. Quanto às inter-relações entre os elementos podem ocorrer entre: recursos e atividades (por exemplo, consumo de água e energia na produção agrícola); recursos e serviços (por exemplo, consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água); recurso, serviço e atividade (por exemplo, consumo de energia no tratamento de efluentes provenientes da atividade industrial, doméstica e agrícola); e entre próprios recursos (por exemplo, água necessária para manter a integridade dos ecossistemas aquáticos), dentre outras. A quantidade de interações entre esses elementos funciona com base em uma análise combinatória. Ou seja, quanto maior o número de elementos na estrutura nexus, maior será a quantidade de interações entre eles.

Importante perceber que as variáveis de composição são dinâmicas no procedimento, ou seja, nem todas serão consideradas em uma aplicação. A escolha das variáveis de composição e de seus fatores de intervenção é variável para cada estudo conforme seu contexto e objetivo. A definição desses componentes irá influenciar em todo desenvolvimento do conceito nexus.

Uma vez definidas as variáveis de composição, segue a fase de avaliação das inter-relações entre elementos nexus. É dividida em duas etapas, diagnóstico e prognóstico. O diagnóstico representa uma avaliação atual da realidade das interconexões. Enquanto o prognóstico representa projeção de cenários futuros de planejamento setorial.

No diagnóstico é reconhecido o nível de inter-relações entre elementos e identificado os desafios e limitações que envolvem sua implementação. O desenvolvimento desta fase depende diretamente da disponibilidade de bases de dados de todos os setores envolvidos. O tratamento e análise das informações presentes nos bancos de dados podem ser realizados com o auxílio de métodos estatísticos, ferramentas de SIG, ou outros métodos e ferramentas direcionadas para essa finalidade. A baixa adesão de dados inviabiliza um bom diagnóstico das relações propostas pelo conceito nexus. Neste caso, recomenda-se iniciar as investigações pelas análises das bases de dados presentes na área de estudo para assim, definir estratégias

que permitam concretizar o diagnóstico. Os resultados alcançados na parte II desta pesquisa apresenta essa investigação para o caso das bases de dados presentes no Brasil.

Com o diagnóstico elaborado, é possível construir o prognóstico que refere-se a elaboração e projeção de cenários de planejamento para aplicação do conceito nexus abrangendo previsões de curto, médio e longo prazos. Esses cenários tentam representar, a partir de simulações, como seria a implantação desse conceito na realidade da gestão local. Logo, quanto maior for o nível de integração entre as estruturas setoriais (instituições, legislações, planos, programas e projetos, etc.), mais fácil se torna a implementação dos cenários propostos. A elaboração dos cenários de planejamento deve sempre considerar um cenário de referência que representa a realidade atual (diagnóstico) dos elementos em estudo no limite espacial definido.

Tanto para a fase de diagnóstico quanto para a fase de prognóstico são aconselháveis à utilização integrada de métodos e ferramentas de avaliação qualitativos e quantitativos. Isso porque as avaliações nexus envolvem dois tipos de análises:

(a) setorial - institucional e política: Investigação se as estruturas institucionais e legislativas possuem indícios de características que remetem ao conceito nexus (por exemplo, análise do nível de integração entre as instituições, sistemas de governança e legislações setoriais quanto à abordagem nexus, etc.) e caso não tenham, deve-se propor alterações de forma que represente a proposta nexus;

(b) quantitativa dos *interlinks* entre elementos (por exemplo, consumo de água e energia na produção agropecuária e seus impactos nos ecossistemas). Neste caso, deve-se conciliar, de forma interligada, três níveis de planejamento estratégico na elaboração dos cenários, planejamento hídrico, energético e agrícola. No planejamento hídrico devem ser inseridos sistemas de alocação de água e regras de operação de reservatórios. O planejamento energético deve incluir as projeções das matrizes energéticas considerando aspectos climáticos, hídricos, tecnológicos e econômicos. No planejamento agrícola, os mesmos aspectos devem ser considerados associados às técnicas de manejo do solo, sistemas de irrigação, maquinários agrícolas, água virtual e pegada hídrica das culturas. Em resumo, os três níveis de planejamento devem contemplar ações de eficiência hídrica e energética atrelada ao desenvolvimento territorial.

Nos dois casos são considerados no mínimo, dois a três elementos distintos, que quando avaliados em conjunto, são inseridos uma grande quantidade de variáveis no sistema. Em casos onde as ferramentas e métodos de avaliação não sejam suficientes ou significativos para representar as complexas interações entre suas variáveis, é necessário desenvolver novas ferramentas e métodos direcionados para essas especificidades. A discussão das principais ferramentas e métodos estão presentes na seção 4.1.1.6.

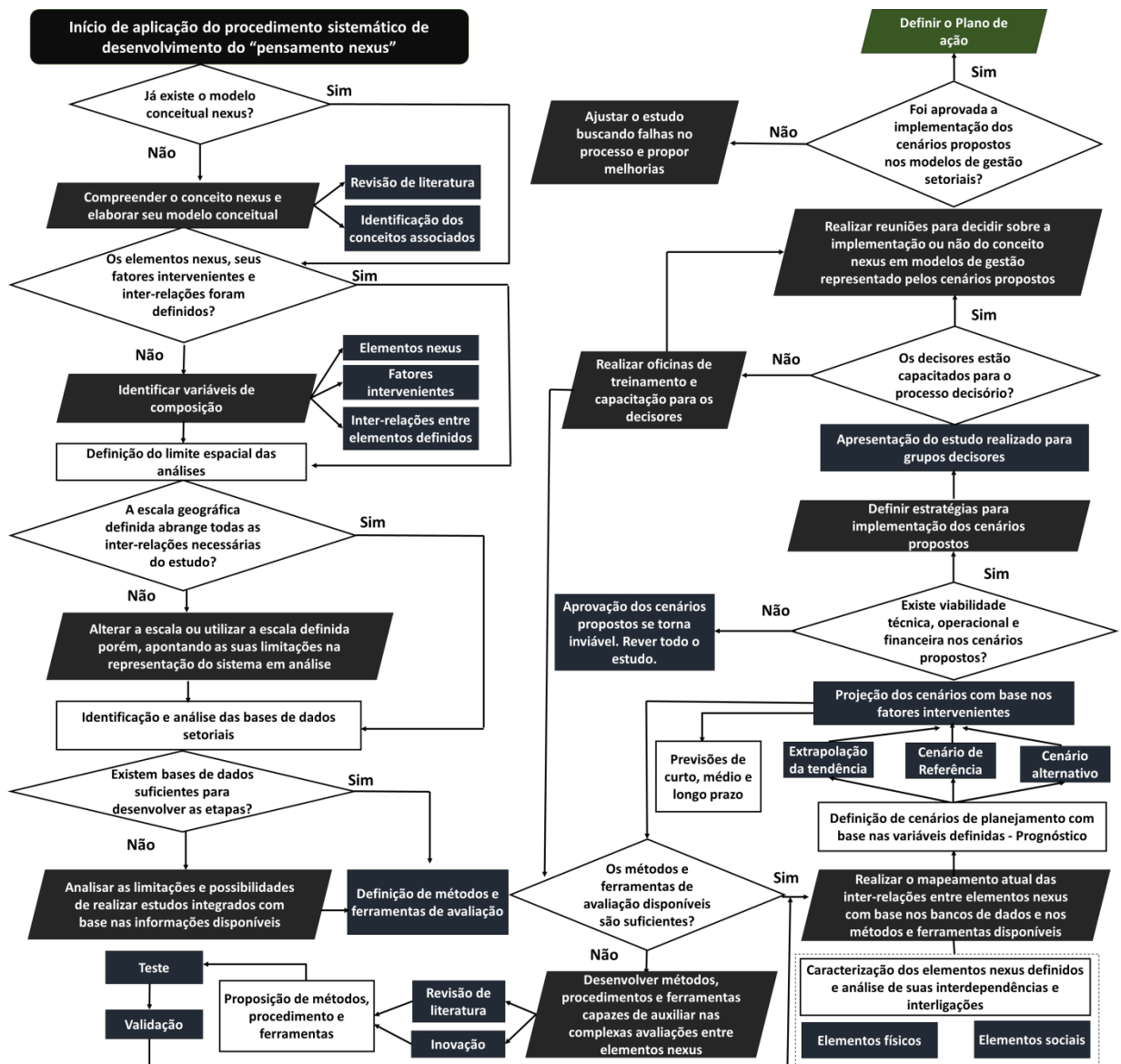
A partir do prognóstico, segue a última etapa do procedimento que consiste no processo decisório sobre a aplicação ou não do conceito nexus em modelos de gestão. Essa fase envolve três etapas: (a) Definição e análise do perfil dos atores/*stakeholders*; (b) capacitação dos decisores. Não se decide o que não se compreende; (c) processo decisório, onde devem ser apresentados aos atores, a viabilidade técnica e econômica de implementação desses cenários. Isso é necessário porque nenhum gestor ou formulador de políticas irá disponibilizar tempo e recursos financeiros para investir em uma abordagem que não apresenta argumentos suficientes para sua implantação; e (d) plano de ação que define, após aprovação pelos decisores, as ações que irão viabilizar a implementação dos cenários propostos.

Das etapas apresentadas, o processo decisório envolve os maiores desafios de implementação do procedimento nexus. Isso porque esta fase apresenta uma grande quantidade de variáveis

dinâmicas como por exemplo, a participação de múltiplos atores de diferentes interesses, estruturas institucionais distintas e o próprio modelo político-econômico.

O desenvolvimento e implementação do procedimento sistemático deve ocorrer por fases, onde as mudanças necessárias a serem feitas sejam conduzidas de médio a longo prazo, respeitando a realidade sociocultural e político-econômico presente em cada país. A Figura 27 apresenta um diagrama ilustrando as etapas apresentadas na Tabela 16.

Figura 27: Diagramação do procedimento sistemático de representação do conceito nexus



Fonte: Próprio autor

4.1.3 Síntese das informações necessárias para desenvolvimento do procedimento proposto

Existe uma grande demanda de informações para possibilitar o desenvolvimento das etapas definidas no procedimento nexus. Essas informações podem ser alcançadas em bases de dados setoriais (dados secundários) ou através da coleta em campo (dados primários). As formas de apresentação dos dados e seu nível de monitoramento possuem grande relevância para o desenvolvimento das fases de diagnóstico e definição dos cenários de planejamento nexus que

implicam na utilização de modelos e métodos de avaliação. As principais informações relacionadas ao uso desses instrumentos incluem:

Avaliação qualitativa - Elementos sociais (com base nos estudos de SCOTT *et al.*, 2011; ENDO *et al.*, 2015; KARLBERG *et al.*, 2015; VILLAMAYOR-TOMAS *et al.*, 2015; STEIN *et al.*, 2018; STEDMAN *et al.*, 2018; SUŠNIK *et al.*, 2018; BENITES-LAZARO *et al.*, 2018; PASQUAL *et al.*, 2018; HOLOHAN *et al.*, 2018; RODRÍGUEZ-DE-FRANCISCO *et al.*, 2019):

(a) Análise histórica do contexto: social, demográfico, econômico, político e das relações culturais presentes na área de estudo;

(b) Análise da composição e funcionamento da estrutura setorial: quantidade de instituições e atores; legislações; governança; políticas públicas; programas e projetos;

(c) Caracterização do nível de integração da composição setorial.

Esta seção também inclui variáveis socioeconômicas, por exemplo, dinâmica populacional, relações comerciais, custo de insumos ao longo da produção, mudanças no uso da terra, renda, padrão metabólico das sociedades modernas (GIAMPIETRO *et al.*, 2013; BEKCHANOV & LAMERS, 2016), etc.

Avaliação quantitativa - Elementos físicos (com base nos estudos de GIAMPIETRO *et al.*, 2013; JALILOV *et al.*, 2015; AL-ANSARI *et al.*, 2015; AHMAD & KHAN, 2016; BEKCHANOV & LAMERS, 2016; JALILOV *et al.*, 2016; DAHER *et al.*, 2017; SUN *et al.*, 2018; ABDELKADER *et al.*, 2018; BASHEER & ELAGIB, 2018; SUŠNIK *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2019):

(a) **Água:** Disponibilidade hídrica (superficial, subterrânea); fontes de água não convencional; quantificação do consumo de água para: irrigação, tecnologias de energia, indústria, abastecimento humano e dessedentação animal, etc.; dados físicos e operativos de reservatórios (volume inicial, volume máximo, volume morto, curva cota x volume e cota x área, evaporação, volumes observados, volumes operativos); qualidade da água; e dados georreferenciados.

(b) **Energia:** Definição das fontes de energia primária e secundária; dados de geração hidroelétrica (vazão máxima turbinada, demandas energéticas dos reservatórios em operação); quantificação das necessidades de energia para o abastecimento humano (bombeamento, tratamento e distribuição); quantificação das necessidades de energia para produção agrícola (lavoura, colheita, produção de fertilizantes, máquinas, e transporte) e animal; e dados georreferenciados.

(c) **Agricultura:** Levantamento das culturas por região hidrográfica; área irrigada por cultura; sistema de irrigação e manejo utilizados; coleta de dados do clima para o balanço hídrico climatológico da região (evapotranspiração real; precipitação mensal; precipitação efetiva); levantamento dos insumos utilizados na produção das culturas; consumo de água e energia para produção animal e agrícola; e dados georreferenciados.

Essas informações podem ser trabalhadas em sistemas que consideram: relações entre disponibilidade e demanda de recursos naturais (relações de consumo); trade-offs presentes nas relações entre elementos; sinergias e conflitos entre setores; cenários que consideram a interferência das mudanças climáticas e o crescimento da população nos segmentos de água, energia, agricultura e ecossistema; relações de governança; análise de ciclo de vida de serviços e produtos; produção sustentável; impactos ambientais nas relações entre os

elementos nexus; sistemas de perda e riscos associados; urbanização; analogias com variáveis ecológicas (por exemplo, serviços do ecossistema e dinâmica ecológica); dentre outros.

A partir do levantamento das informações necessárias para viabilizar pesquisas integradas no contexto nexus, foi proposto uma metodologia voltada para identificação, análise e seleção das bases de dados setoriais como pode ser observado na seção 4.2.

4.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA IDENTIFICAÇÃO, ANÁLISE E SELEÇÃO DE BASES DE DADOS MULTISSETORIAIS (PARTE II)

No Brasil, as informações referentes aos sistemas de recursos hídricos, energia e agricultura estão segmentadas em bancos de dados independentes, geridos por um grande número de instituições nas esferas Federal, Estadual e Municipal. Ratifica-se que para o presente estudo, foi considerado apenas as bases de dados na esfera Federal, tendo a Constituição Federal de 88 (BRASIL, 1988) como norteador de todo marco regulatório do país. Diante disso, esta seção apresenta os resultados encontrados na aplicação da metodologia proposta no Capítulo 3.

Etapa 1 – Análise Institucional

Para a primeira etapa do procedimento, foi identificado um conjunto de órgãos e colegiados que estão organizados na Figura 28, conforme a estrutura governamental vigente. Deve-se frisar que, ao longo do tempo, essa estrutura tem sido adaptada e alterada em detrimento dos aspectos políticos e econômicos inerentes ao modelo de desenvolvimento praticado no país.

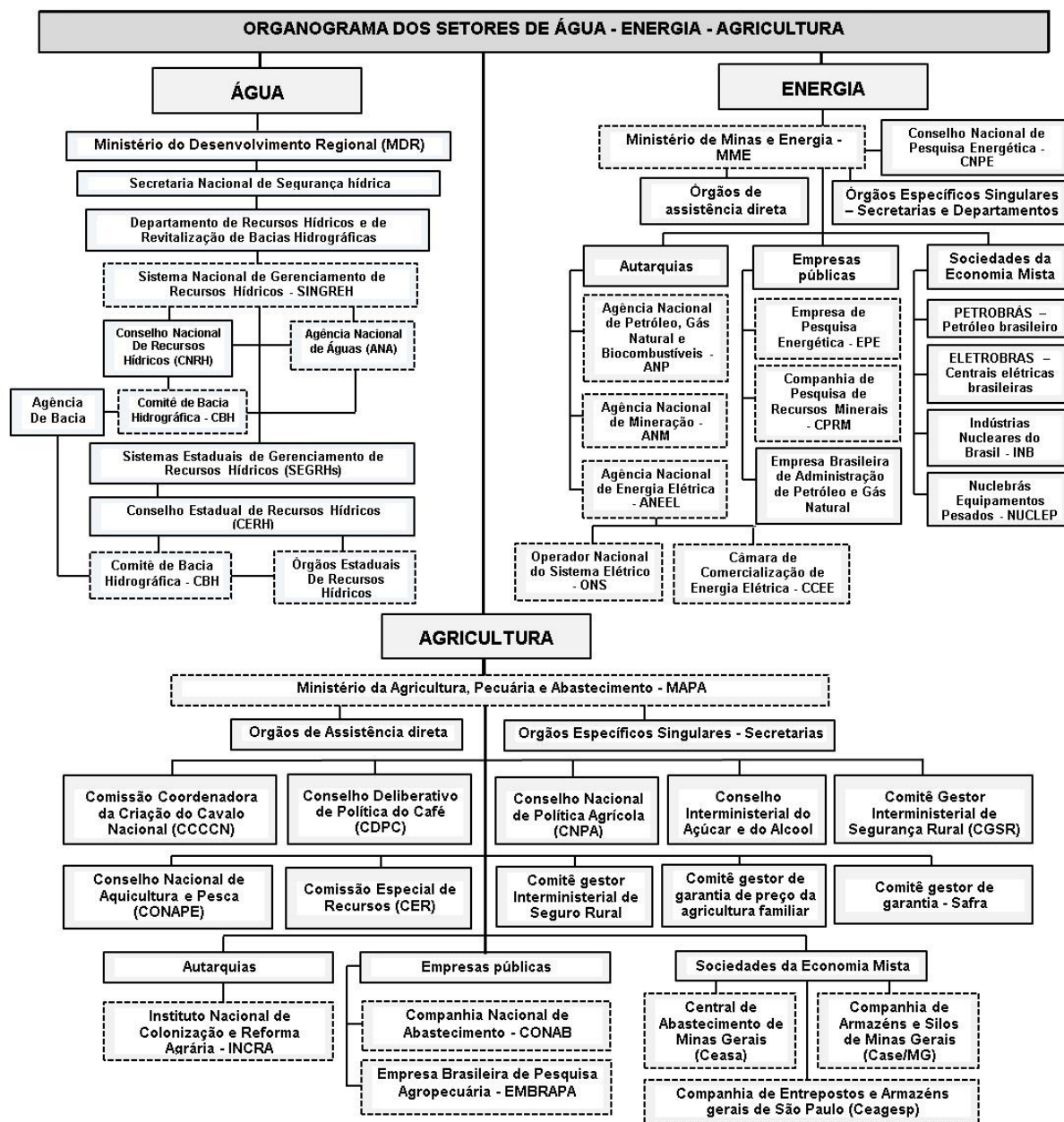
Observa-se uma grande quantidade de segmentos que compõem os setores em questão. Cada setor está inserido em um Ministério governamental, e alinhado a cada Ministério estão às secretarias, departamentos, conselhos, e órgãos específicos. As instituições levantadas no organograma detêm as principais bases de dados dos setores em questão.

Para o setor de recursos hídricos, cabe aos Poderes Executivos Estaduais e do Distrito Federal, implantar e gerir o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) (BRASIL, 1997a). Para tanto, as principais bases de dados correspondentes a este setor podem ser encontradas nas páginas eletrônicas da Agência Nacional de Águas (ANA), de alguns Comitês de Bacia Hidrográfica (CBHs) e suas agências, no Sistema Nacional de gerenciamento de recursos hídricos, e nos órgãos Estaduais de recursos hídricos, conforme destacado na Figura 28.

Para o setor de energia, é de competência da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) “promover estudos e produzir informações para subsidiar planos e programas de desenvolvimento energético ambientalmente sustentável, inclusive, de eficiência energética” (BRASIL, 2004). Logo, a EPE e outros segmentos como Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), dentre outras instituições apresentadas na Figura 28, possuem bases de dados representativos deste setor.

Quanto ao setor agrícola, é de competência do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) “informação agropecuária, informação meteorológica e climatológica para uso na agropecuária” (BRASIL, 2019c). Neste caso, destacam-se todas as entidades vinculadas divididas em autarquia, empresas públicas e sociedades de economia mista descritas na Figura 28.

Figura 28: Organograma dos setores de Água – Energia – Agricultura




Fonte: Próprio autor

Etapa 2 – Identificação das bases de dados

A partir da apresentação do sistema organizacional, foram identificadas vinte (20) bases de dados nacionais (Figura 29), concentrados especialmente, nos seguintes órgãos e colegiados: ONS, ANEEL, EPE, ANA, CPRM, EMBRAPA, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), CONAB, e MAPA. Dessas, apenas o IBGE não consta no organograma exposto pela Figura 28, por estar vinculado ao Ministério da Economia (BRASIL, 2019e). Apesar do IBGE não compor os setores em estudo, ele apresenta um riquíssimo banco de dados socioeconômico e demográfico, contendo grande parte das informações georreferenciadas (IBGE, 2019).

Figura 29: Base de dados nacionais dos setores de Água – Energia – Agricultura

Bases de dados		Identificação(ID) - Nome - Informações Disponíveis - Fonte	
 ENERGIA	Base de dados	A	Histórico de operação de energia elétrica da ONS Dados hidrológicos dos reservatórios; energia natural afluente; carga de energia; energia armazenada; capacidade instalada de geração; geração de energia; etc. ONS (2019a)
		B	SINDAT: Sistema de Informações Geográficas cadastrais do SIN Dados georreferenciados da localização das usinas em operação e planejadas; linhas de transmissão; subestações; ramais em operação e planejados; descargas atmosféricas. ONS (2019b)
		C	BIG: Banco de Informações de Geração Capacidade de geração de energia elétrica (empreendimentos em operação, construção e construção não iniciada); matriz de energia elétrica; tipos de fontes de energia; etc. ANEEL (2019a)
		D	SIGEL: Sistema de Informação Geográfica do Setor Elétrico Dados georreferenciados de tipos de usinas de geração de energia elétrica. ANEEL (2019b)
		E	ANP: Agência Nacional de Petróleo / Banco de dados Dados de produção de petróleo e gás natural; série histórica dos preços dos combustíveis; licitações; biocombustíveis; importações e Exportações; etc. ANP (2019)
		F	Sistema de Informação Geográfica do Setor Energético – WEB MAP EPE Dados georreferenciados e caracterização de usinas de energia referente a matriz energética. EPE (2019)
		G	UNICA: União das Indústrias de cana-de-açúcar Acompanhamento de safra; histórico de produção e moagem; área cultivada com cana-de-açúcar; preços e cotações; consumo de combustíveis; exportação e importação; etc. UNICA (2019)
 ÁGUA	Base de dados	A	HIDROWEB: Sistema de Informação Hidrológica Séries históricas de postos de monitoramento pluviométrico e fluviométrico. ANA (2019a)
		B	Portal de Metadados Conjunto de dados espaciais, contendo múltiplas informações como, por exemplo, balanço hídrico, qualidade e quantidade da água, etc. ANA (2019c)
		C	SAR: Sistema de Acompanhamento de Reservatórios Série histórica de dados dos reservatórios (cota, volume, vazão vertida, vazão turbinada, etc.) ANA (2019d)
		D	Outorga: Instrumento de gestão da PNRH Informações de outorga de captação de água e de lançamento de efluentes, separadas por tipo de uso (abastecimento humano, industrial, irrigação, etc.). ANA (2019b)
		E	SIAGAS: Sistema de Informações de Águas Subterrâneas Características (perfil construtivo, teste de bombeamento, hidrogeológico, análises químicas, etc.) e localização dos poços de águas subterrâneas. CPRM (2019)
		F	SNISB: Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragem Características (localização, altura, volume, uso, categoria de risco, dano potencial associado, etc.) de barragens cadastradas no sistema. ANA (2019e)
		G	SNIS: Sistema Nacional de Informações sobre saneamento Diagnóstico de água e esgoto - consumo de energia e perdas de água nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, etc. SNIS (2019)
 AGRICULTURA	Base de dados	A	Censo Agropecuário Dados estatísticos do setor agropecuário (informações de agrotóxicos-fertilizantes, lavouras temporárias-permanentes, maquinário agrícola, silvicultura, etc.). IBGE (2018)
		B	BDPA: Base de dados da Pesquisa Agropecuária Base de dados apresentadas em trabalhos técnicos e científicos do setor agropecuário (pdf). EMBRAPA (2019a)
		C	Conab: Companhia Nacional de Abastecimento Informações de oferta e demanda de produtos; série histórica de safras, importação e exportação; oferta e demanda dos produtos; preços; etc. Conab (2019)
		D	AGROBASE - Base Bibliográfica da Agricultura Brasileira Base de dados apresentadas em trabalhos técnicos e científicos do setor agropecuário (pdf). MAPA (2019)
		E	GeoInfo Dados espaciais em formatos matriciais e vetoriais de estudos relacionados a mapeamentos de uso e cobertura do solo; zoneamentos e diagnósticos ambientais, etc. EMBRAPA (2019b)
		F	INMET: Instituto Nacional de Meteorologia Precipitação; temperatura; umidade relativa do ar; pressão atmosférica ao nível da estação; insolação; direção e velocidade do vento, etc. INMET (2019)

Fonte: Próprio autor

A União das Indústrias de cana-de-açúcar (UNICA) destaca-se por não possuir uma instituição vinculada diretamente a um dos Ministérios dos setores elencados no organograma (Figura 28). Observa-se, também, que para o setor de recursos hídricos, todas as bases de dados identificadas, com exceção do SNIS (compõe o Ministério das Cidades) e SIAGAS (coordenação da CPRM), são de coordenação da ANA, que tem como competência organizar, implantar e gerir o SNIRH (BRASIL, 2000).

Além das bases de dados apontadas na Figura 29, é importante ressaltar onze plataformas de concentração de informações de diferentes bases de dados tanto nacionais, quanto internacionais:

(a) Portal brasileiro de dados abertos - possui um sistema de compilação de informações de várias instituições, como por exemplo, ANEEL, ANA, DNPM, ANP, IBGE, dentre várias outras incluindo setores da saúde e economia (BRASIL, 2019a);

(b) Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) – Reúne dados espaciais presentes nas diferentes instituições brasileiras (BRASIL, 2019g);

(c) TerraBrasilis – Plataforma desenvolvida pelo INPE para organização e disseminação de dados espaciais gerados pelos projetos de monitoramento da vegetação nativa do instituto como os projetos PRODES (Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite) e o DETER (ferramenta de suporte à fiscalização do desmatamento) (INPE, 2019);

(d) Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido brasileiro (SIGSAB) – Coordenado pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA) ligado ao Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). Esta base de dados apresenta informações de quatro formas, caracterização, produtividade, documentais e georreferenciado (INSA, 2019);

(e) Comex Stat – Base de dados ligada ao Ministério da indústria, comércio exterior e serviços, voltado para disponibilizar dados estatísticos referentes às exportações e importações de produtos brasileiros (MDIC, 2019);

(f) SIDRAS – Banco de dados do IBGE onde se concentram uma grande quantidade de informações disponibilizadas através de tabelas estatísticas (IBGE, 2019);

(g) PROCEL INFO: Centro de informações de eficiência energética – Apresenta informações sobre eficiência energética no Brasil através da divulgação de projetos, legislações, dados e publicações nessa área (ELETROBRAS, 2019);

(h) SISPPI - Sistema de Informações sobre os Projetos Públicos de Irrigação: Instrumento da Política Nacional de irrigação, a base de dados SISPPI é coordenado pela secretaria Nacional de irrigação do Ministério da Integração Nacional, reúne informação sobre os projetos de irrigação desenvolvidos no Brasil quanto a “áreas irrigadas, infraestrutura de suporte à produção agrícola irrigada, disponibilidade de energia elétrica e condições social econômica do irrigante” (SISPPI, 2019). Para ter acesso às informações, é preciso realizar o cadastro em sua plataforma (SISPPI, 2019);

(i) UN Comtrade Database: Base de dados da ONU de acesso livre onde são apresentadas informações globais do comércio internacional (UNITED NATIONS, 2019);

(j) FAOSTAT – Banco de dados da FAO: Food and Agriculture Organization (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura), traz dados estatísticos na área de agricultura e alimentação (FAOSTAT, 2019);

(k) WaterStat - *Water footprint statistics*: Banco de dados aberto de estatísticas de pegada hídrica global, apresentando informações em diferentes formatos de saída como por exemplo, *Shapefile*, planilhas excel, imagens e relatórios (WATERSTAT, 2019).

Todos esses sistemas de informações, apesar de não estarem ligados diretamente às instituições listadas na Figura 28, devem ser considerados nas investigações contemplando a abordagem nexus por conter uma grande quantidade de dados mensurados para múltiplas escalas espaciais e de acesso livre. Como por exemplos, a plataforma de informação do semiárido brasileiro que apresenta dados em escala regional e a base de dados internacional WaterStat que apresenta informações sobre pegada hídrica e água virtual de uma grande variedade de produtos e serviços.

Deve-se mencionar ainda o Portal brasileiro de dados abertos e a plataforma INDE por exprimirem um avanço para o campo de estudos integrados em função da capacidade desses sistemas em reunir uma grande quantidade de informações de múltiplas instituições em uma única plataforma. Apesar dessas plataformas se mostrarem promissoras, suas informações ainda possuem carência quanto ao nivelamento na apresentação dos dados e no seu formato de saída. Isso ocorre porque essas plataformas agrupam informações, porém, não alteram a estrutura de monitoramento e gerenciamento dos seus dados.

Uma vez apresentado o levantamento das bases de dados, segue para a próxima etapa que consiste em sua análise. A Etapa 3 não está apresentada nesta seção, uma vez que, os critérios já foram definidos e discutidos na metodologia deste estudo (Capítulo 3). Eles serão utilizados na Etapa 5 para construção da matriz de classificação.

Etapa 4 – Análise das bases de dados

A análise das bases de dados foi conduzida por meio da investigação de quatro pontos conforme elencado na metodologia: presença de dados georreferenciados; possibilidade de trabalhar com múltiplas escalas geográficas; divergências entre informações; e a existência de bases de dados que apresentem informações integradas entre elementos nexus.

Para análise do primeiro ponto, verifica-se que 50% das bases de dados levantadas na Figura 29 são georreferenciadas, estando distribuídas mais de 80% nos setores de recursos hídricos e energia.

Dados espaciais possuem uma grande contribuição nos estudos quantitativos de avaliação integrada dos elementos nexus, viabilizando pesquisas para múltiplas escalas geográficas de aplicação. Isso é possível desde que atendam a um dos aspectos assinalados:

- Presença de bases de dados nacionais que sejam especializadas e, ao mesmo tempo, de produtividade, ou seja, apresentem o monitoramento de suas informações e não apenas a sua caracterização, podendo citar a *Hidroweb* dentre os sistemas identificados na Figura 29.
- Presença de bases de dados apenas de georreferenciamento. Neste caso, é necessário integrar essas informações a uma base de dados de produtividade, como, por exemplo, a associação entre SIGEL e ONS: realizar a identificação espacial e a caracterização de usinas do setor de energia no banco de dados da SIGEL, e obter informações do histórico de geração de energia dessas usinas no banco de dados do ONS, desde que ambas as usinas estejam presentes nas duas bases de dados.

Quanto à variabilidade do tipo de escala geográfica a ser trabalhado, podem ser efetuados recortes de informações presentes em uma macro-escala para uma micro-escala, por meio

da utilização de ferramentas de SIG, desde que as informações estejam georreferenciadas, assim como os limites territoriais.

Outro ponto a ser considerado é a relação existente entre a estrutura organizacional presente em cada setor com a escala geográfica de apresentação de seus dados. Neste caso, observa-se que bases de dados do setor de recursos hídricos normalmente apresentam seus dados na escala de bacia hidrográfica, uma vez que a PNRH define a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gestão (BRASIL, 1997a).

Para o setor de energia elétrica, têm-se as principais bases de dados na escala regional (sub-sistemas) em função do funcionamento do Sistema Interligado Nacional de energia (SIN). Para o setor de agricultura, o Censo Agropecuário e o Conab apresentam suas informações para escalas Estadual e regional. Dentre as bases de dados levantadas, a BDPA e a Agrobases são as únicas que não possuem relação com escala geográfica por tratarem de bancos documentais, onde as informações são expostas em periódicos, livros, relatórios, dentre outros.

Além de analisar essas questões, foi feita a verificação da presença de divergências nas informações apresentadas pelas bases de dados. Deve-se considerar que a investigação desse aspecto é possível desde que mais de uma instituição esteja apresentando o mesmo tipo de informação de um determinado setor. Isso foi concebível apenas para o setor de energia, onde as bases de dados WEB MAP EPE, SIGEL, BIG e Histórico de geração de energia do ONS apresentam informações dos quantitativos das usinas de energia presentes no país.

A pesquisa revelou a presença de divergências entre os quantitativos apresentados por essas bases de dados. Pegando como exemplo usinas eólicas, foi encontrado um total de 455 usinas na base de dados da WEB MAP EPE, 877 na SIGEL, 606 na BIG e 601 no ONS (informações levantadas em julho de 2018). No tocante às usinas solares, foram identificadas 67 na WEB MAP EPE, 2.524 na SIGEL, 2.469 na BIG e 81 no ONS. O mesmo ocorre para demais usinas geradoras de energia elétrica.

Como último ponto de análise, foi efetuada uma investigação sobre as bases de dados que possuem integração entre informações de elementos nexus distintos. Neste caso, as únicas bases de dados (levantadas na Figura 29) que atendem a estas exigências são, o sistema de cadastro de outorga, que relaciona os elementos água - agricultura irrigada, e água - energia hidroelétrica; e a UNICA que relaciona energia (bioenergia) e agricultura (cana-de-açúcar).

Especificamente para o sistema de outorga, observa-se que esta base de dados detém as coordenadas geográficas dos pontos de captação de água para irrigação, podendo representar o setor de agricultura irrigada quanto à: localização espacial; tipos de culturas; vazão de retirada; e métodos de irrigação praticados por bacia hidrográfica. Sistemas de outorgas são baseados em cadastro de usuários. Esses cadastros, muitas vezes não conseguem representar a realidade praticada em campo devido à incoerência nas informações ou na própria falta dela.

De forma geral, foram expostos alguns aspectos de interesse para pesquisas voltadas para abordagem nexus. Porém, outros pontos merecem ser aprofundados a depender da necessidade de investigação para um estudo específico.

Etapa 5 – Classificação das bases de dados

Esta etapa consiste na classificação das bases de dados, elencadas na Figura 29, frente aos critérios definidos na metodologia. Os resultados demonstram que 75% dos dados apresentados na Tabela 17 exprimem informações que estão disponíveis para download; 45% possuem série histórica como período de monitoramento dos dados; 25% possuem informações para escala de tempo anual e 55% dos dados possuem múltiplas escalas geográficas, com destaque para o nível de bacia hidrográfica, predominante no setor de águas, e nível nacional, predominante nos demais setores, em especial no segmento de energia.

Todas as bases de dados georreferenciadas do setor de energia apresentam suas informações para escala espacial nacional. A ANP possui o maior banco de dados disponíveis do Brasil referente às informações de séries históricas de volume processado de petróleo por poço e por refinaria, dados estatísticos de reserva, produção de petróleo e derivados, consumo, refino, importação, exportação e variação dos preços. Essas informações são apresentadas em formato de Excel (CSV) e através de relatórios. Da mesma forma, a ANP apresenta dados de séries históricas estatísticas para biodiesel e gás natural. Todas as informações são disponíveis.

Diferentemente da ANP, o SINDAT e o INMET são bases de dados condicionadas. No primeiro caso, embora as informações possam ser visualizadas, elas não estão disponíveis para *download*. Enquanto que no caso do INMET, o usuário precisa apenas realizar o cadastro para poder ter acesso às suas informações. Quanto ao número de grandezas presentes nas bases de dados, a quantidade mínima encontrada foram duas grandezas. Referente a escala temporal, o período anual foi o que mais esteve presente no monitoramento e apresentação dos dados.

No contexto geral, os pontos mais fracos identificados nas bases de dados levantadas do setor de energia consistem na falta de clareza quanto ao número de usinas presentes no país, uma vez que essas informações apresentaram divergências nesses quantitativos. No setor de recursos hídricos, um dos pontos mais críticos refere-se na carência de disponibilização de séries históricas referentes à qualidade da água das bacias hidrográficas. Essas informações, na maior parte dos casos, são encontrados em estudos técnicos científicos ou para o caso particular de algumas bacias, esses dados podem ser encontrados nas plataformas de alguns órgãos gestores. Enquanto que no setor de agricultura, é necessário interligar dados georreferenciados com séries históricas de monitoramento.

Tabela 17: Matriz de classificação das bases de dados levantadas na Figura 29

Setor	Base de dados	Acesso à informação			Período de monitoramento			Escala de tempo						Escala Geográfica						Grandezas			Tipo de base de dados			Espacialização dos dados			
		Disponível	Condicionada	Não Disponível	Série histórica	Restrita	Não consta	Diário	Semanal	Mensal	Anual	Outros	Múltiplas	Não consta	Nacional	Regional	Estadual	Bacia hidrográfica	Local	Múltiplas	Única grandeza	Múltiplas grandezas	Não consta	Caracterização	Produtividade	Documentais	Georreferenciado	Não georreferenciado	
Energia	A	X			X							X							X		X			X			X		
	B		X			X							X	X							X	X				X			
	C			X		X							X	X							X	X					X		
	D	X				X							X	X							X	X			X		X		
	E	X			X							X								X	X			X			X		
	F	X				X							X	X							X	X				X		X	
	G	X			X					X										X	X			X			X		
Água	A	X			X							X				X				X			X			X			
	B	X				X						X							X		X		X			X			
	C	X			X		X										X	X		X			X				X		
	D	X				X						X				X				X			X			X			
	E	X				X						X				X				X			X			X			
	F			X		X						X							X	X			X			X			
	G	X			X					X									X	X			X				X		
Agricultura	A	X				X			X										X		X			X			X		
	B	X				X						X							X		X			X			X		
	C	X			X				X				X							X			X				X		
	D	X				X						X							X		X			X			X		
	E	X				X						X							X		X		X			X			
	F		X		X							X							X		X			X			X		
Total	16	2	2	8	2	10	1	-	-	4	-	5	10	5	-	-	3	1	11	0	13	7	8	10	2	10	10		

Fonte: Próprio autor. *As bases de dados estão descritas na Figura 29.

Etapa 6 – Estruturação e seleção das bases de dados

Esta etapa representa a última fase do Sistema de Apoio à Decisão (SAD), onde as bases de dados foram estruturadas e selecionadas. Para tanto, foi necessário definir o objetivo do estudo, o contexto e a escala geográfica de aplicação, sendo esses fatores importantes para planejamento de um estudo.

Os trabalhos desenvolvidos por Jalilov *et al.* (2016), Basheer & Elagib (2018) e Uen *et al.* (2018) foram utilizados como referência para definição de um esboço de pesquisa para concretização desta etapa. Ambos os estudos possuem a escala geográfica em nível de bacia hidrográfica, detêm como contexto a gestão dos recursos hídricos e, como meta central, a quantificação das inter-relações entre elementos dos nexus, a partir da utilização de modelos matemáticos.

Considerando estas características, foi realizada a estruturação e seleção das bases de dados, conforme ilustra a Figura 30. Percebe-se que as categorias dos critérios foram definidas visando atender ao exemplo de esboço de pesquisa apresentado. Logo, essas categorias podem ser alteradas à medida que o escopo do estudo é modificado.

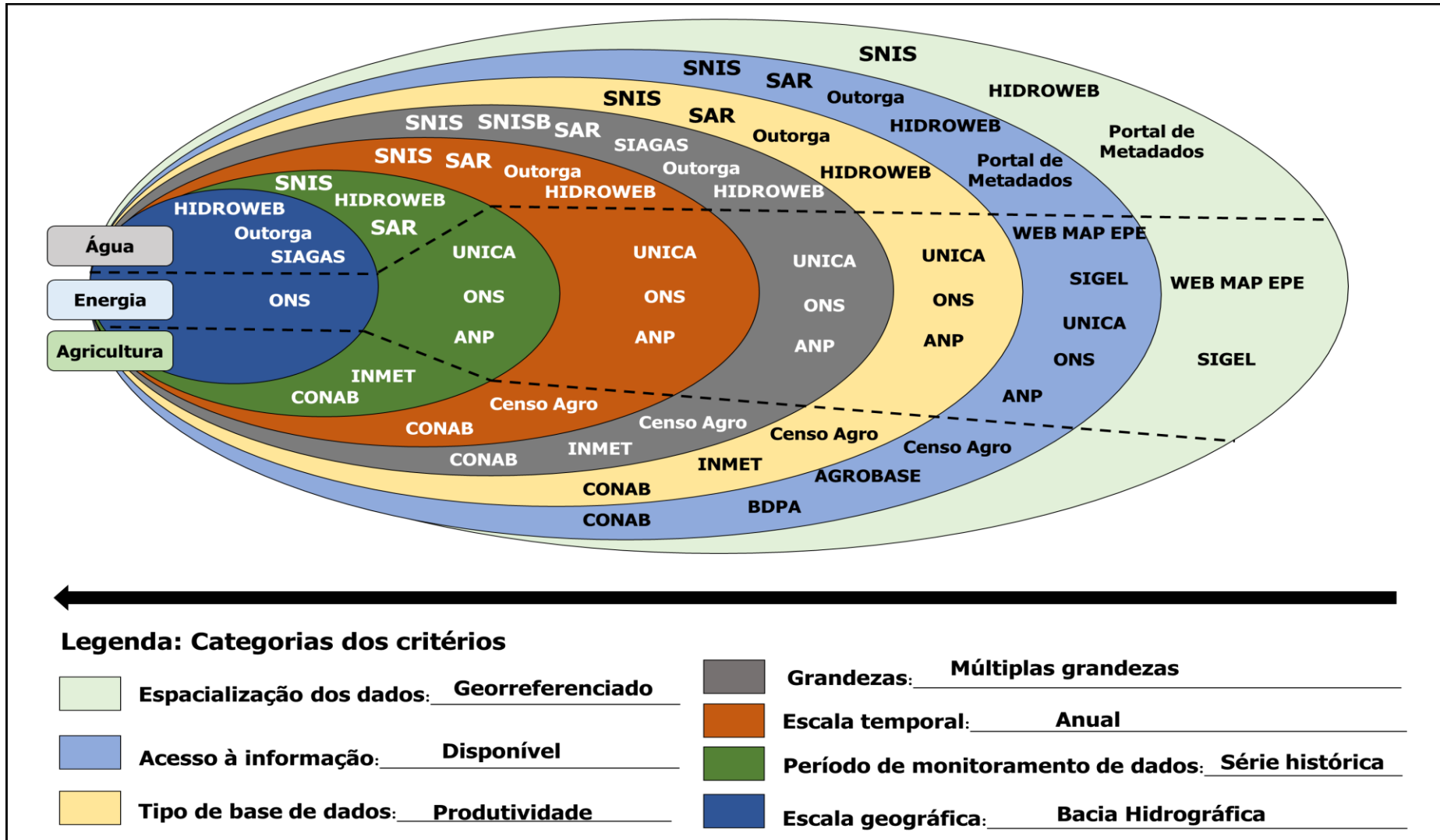
Especificamente para as categorias dos critérios definidas no exemplo apontado na Figura 30, observa-se que, apesar do setor de agricultura não possuir bases de dados para escala de bacia hidrográfica, deve-se acentuar que existe o sistema de outorga da ANA que não apresenta histórico de produção agrícola, mas, possui quantitativos de consumo de água por cultura, associado ao tipo de sistema de irrigação. Para os critérios em conjunto, período de monitoramento dos dados (série histórica); escala temporal (anual); grandezas (múltiplas); e tipo de base de dados (produtividade), o setor de agricultura retrata apenas duas bases de dados (Conab e Censo Agropecuário).

Cabe mencionar que o INMET, apesar de estar presente em três das categorias dos critérios relatados, conforme ilustra a Figura 30, representa uma base de dados meteorológico-climatológica aplicada à agricultura (Brasil, 2019c), não proporcionando informações relacionadas à produtividade agrícola.

Quanto ao setor de energia, a maior carência de bases de dados também consiste no critério escala geográfica referente à bacia hidrográfica, apresentando apenas o ONS dentro dessa categoria. É importante destacar que esta instituição engloba apenas o setor de energia elétrica, logo, não foi catalogada uma base de dados para a escala de bacia hidrográfica para outros tipos de energia, podendo citar combustíveis para transporte (petróleo, gás natural e biocombustíveis). Entre as demais categorias de critérios apresentados na Figura 30, com exceção de acesso à informação, o setor em questão apresentou os mesmos três bancos de dados (ONS, ANP e UNICA) para todas as categorias. Para o setor de recursos hídricos, todos os critérios foram preenchidos com dois ou mais bases de dados.

Observa-se, então, uma carência de base de dados no setor de agricultura e energia para atender a escala geográfica definida. Neste caso, dois direcionamentos tendem a ser considerados, o primeiro corresponde à possibilidade de alteração da escala geográfica e o segundo corresponde à permanência da escala definida e utilização da base de dados desse segmento em outra escala, delineando simplificações e limitações no desenvolvimento da pesquisa. Caso permaneça com a escala definida, em função da relevância desse critério para a pesquisa, as bases de dados a serem selecionadas para o exemplo abordado correspondem a Hidroweb, Outorga, SIAGAS e ONS, além das bases de dados georreferenciadas.

Figura 30: Estruturação e auxílio na seleção das bases de dados (Exemplo de aplicação)



Fonte: Próprio autor

Diante da estrutura apresentada pela Figura 30, cabe esclarecer que o desenvolvimento das etapas apresentadas na metodologia desta parte do estudo foi conduzido para as bases de dados indicadas na Figura 29. As discussões expostas no desenvolvimento das etapas não levam em consideração outros sistemas de dados, podendo ser incluídas em estudos mais específicos. Logo, em caso de inserção de novas bases de dados, ou aplicação para outros limites territoriais, o procedimento metodológico deve ser ajustado ou novamente implementado, e subsequentemente, algumas considerações devem ser revistas. Com o conhecimento das bases de dados setoriais, foram conduzidas investigações das inter-relações entre elementos nexus no contexto brasileiro aplicado para escala nacional.

4.3 MAPEAMENTO DAS INTER-RELAÇÕES ENTRE ELEMENTOS NEXUS NO BRASIL (PARTE III - A)

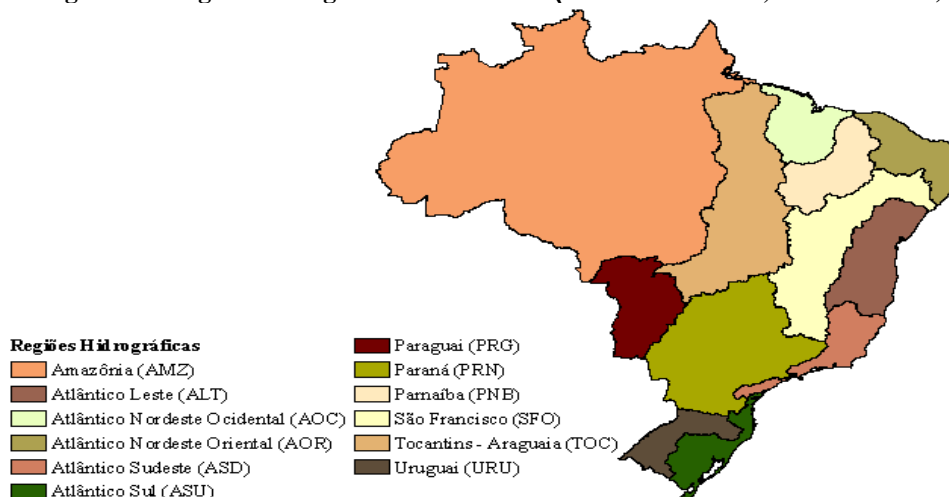
Nesta seção será apresentado o mapeamento dos setores de água, energia e agricultura irrigada no Brasil que incluem a caracterização e a identificação de suas interligações e interdependências. Esse mapeamento representa uma aplicação da terceira etapa definida no procedimento sistemático nexus apresentado no item 4.1 (Parte I, tabela 16). Para desenvolvimento desta seção, foram utilizados como suporte, documentos técnico-científicos; e as bases de dados identificadas na Parte II deste estudo: Energia - ONS, SINDAT, BIG, SIGEL, ANP, WEB MAP EPE, UNICA; Água - Hidroweb, Portal de Metadados, SAR, Cadastro de outorga, SIAGAS, SNIS; e Agricultura - Censo Agro, Conab, AGROBASE, GeoInfo.

4.3.1 Caracterização dos setores de Água – Energia – Agricultura irrigada no contexto brasileiro

4.3.1.1 Água

O Brasil apesar de possuir uma das maiores disponibilidades de água doce do mundo, apresenta uma grande disparidade territorial, espacial e temporal na distribuição de seus recursos hídricos (ANA, 2019i). O modelo de gestão das águas desenvolvido no país é definido pela Lei nº 9433/1997, onde possui como principal fundamento a bacia hidrográfica como unidade de planejamento (BRASIL, 1997a). Neste sentido, o espaço territorial brasileiro foi dividido em 12 Regiões Hidrográficas (RH) (Figura 31, Quadro 11) que compreende uma bacia ou um grupo de subbacias, com vistas a orientar o seu gerenciamento (ANA, 2017a).

Figura 31: Regiões hidrográficas brasileiras (Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Próprio autor (Base de dados ANA/METADADOS)

Quadro 11: Caracterização das regiões hidrográficas brasileiras

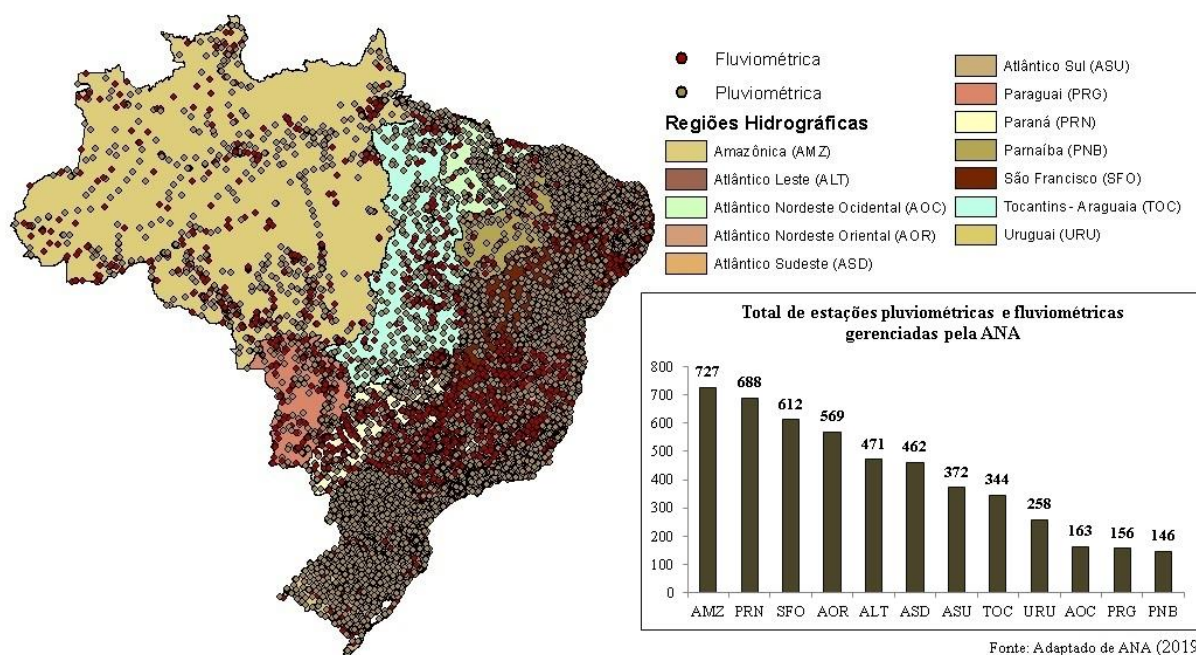
Região Hidrográfica	Caracterização	População total (2010)
Amazônica	Ocupa uma área de 3,87 milhões de km ² (equivalente a 45% da área do país). Cinco Estados estão integralmente inseridos na bacia, Acre, Amapá, Amazonas, Roraima e Rondônia e dois outros Estados estão parcialmente inseridos nessa região, Mato Grosso e Pará. Abrange rios fronteirços e transfronteirços por compreender 2,2 milhões de km ² em território estrangeiro (Peru, Bolívia, Venezuela, Equador, Colômbia e Guiana).	9,7 milhões (5,1% da população do Brasil)
Tocantins-Araguaia	Ocupa uma área de 967 mil km ² (equivalente a 11% da área do país), e abriga a maior rede de drenagem totalmente inserida em território nacional. Seis unidades da federação estão inseridas na bacia, o Estado de Tocantins de forma integral e os Estados do Pará, Goiás, Mato Grosso, Maranhão e o Distrito Federal, de forma parcial.	8,57 milhões (4,5% da população do Brasil)
Parnaíba	É formada por 264 sedes municipais, sendo 53% delas pertencentes à região do semiárido brasileiro. Abrange uma área de 333 mil km ² , distribuída entre os Estados do Piauí, Maranhão, Ceará e Piauí. O percentual de população rural é o segundo maior entre as regiões hidrográficas (35%).	4,15 milhões (2,2% da população do Brasil)
Atlântico Nordeste Oriental	Abrange seis Estados, sendo que o Rio Grande do Norte e a Paraíba estão integralmente inseridos na bacia, o Ceará possui 91% de sua área inserida e os Estados de Pernambuco e Alagoas estão inseridos pela parcela mais densamente povoada desses Estados. O Piauí está representado somente por 2% de sua área. Todas as regiões metropolitanas e capitais desses cinco primeiros Estados estão inseridas no rio, Fortaleza, Natal, João Pessoa, Recife e Maceió.	24,1 milhões (12,6% da população do Brasil)
São Francisco	Abrange sete Unidades da Federação: Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Sergipe, Alagoas, Goiás e o Distrito Federal. Entre os 36 afluentes do rio São Francisco com porte significativo, apenas 19 são perenes. A região do semiárido representa 57% da área e possui 218 municípios inseridos em sua região.	14,3 milhões (7,5% da população do Brasil)
Atlântico Leste	Compreende cerca de 3,9% do território nacional, com seus 388.160 km ² de extensão territorial distribuídos nos Estados da Bahia, Minas Gerais, Espírito Santo e Sergipe, sendo que nenhum deles está integralmente inserido na região hidrográfica. Inclui, entre as capitais, Salvador (BA) e Aracaju (SE). Um aspecto relevante é que mais da metade das sedes municipais dessa região, onde vivem 37,8% da população, está inserida no semiárido. Outra característica é a presença significativa da população na zona rural, em torno de 26%.	15,1 milhões (8% da população do Brasil)
Atlântico Sudeste	Ocupa 299.972 km ² , o equivalente a 3,5% do país, compreendendo integralmente o Estado do Rio de Janeiro e parcialmente os estados do Espírito Santo, Minas Gerais, São Paulo e Paraná	28,2 milhões (14,6% da população do Brasil)
Paraná	É a terceira região hidrográfica mais extensa do Brasil, com uma área de aproximadamente 880 mil km ² , cerca de 10% do território brasileiro, compreendendo áreas dos Estados de São Paulo, Paraná, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e do Distrito Federal. É a bacia mais populosa e mais urbanizada do país (cerca de 57,1 milhões de habitantes), sendo 93% em áreas urbanas.	61,3 milhões (32,4% da população do Brasil)
Paraguai	Nasce em território brasileiro e sua região hidrográfica abrange uma área de mais de 1 milhão de km ² , sendo 33% no Brasil e o restante na Argentina, Bolívia e Paraguai. No Brasil, os seus 328.500 km ² , correspondentes a 3,8% da superfície do país, estão inseridos nos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.	2,16 milhões (1,1% da população do Brasil)
Uruguai	Faz parte da bacia do rio Uruguai, de grande relevância no contexto da integração entre os países do Mercosul, pois inclui, além da parte brasileira, extensas áreas nos territórios da República Argentina e da República Oriental do Uruguai. A área total drenada pelo rio Uruguai é cerca de 371.000 km ² , sendo 174.612 km ² (45%) situados em território nacional, equivalendo a 2% deste território. Abrange áreas dos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina.	3,92 milhões (2,1% da população do Brasil)
Atlântico Sul	Área de 186 mil km ² abrange 2,2% do território nacional e compreende áreas dos Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo. A bacia destaca-se pela alta densidade populacional e pelo desenvolvimento econômico.	13,4 milhões (6,8% da população do Brasil)
Atlântico Nordeste Ocidental	É a terceira menor do país com 274.301 km ² , sendo que 86% dessa área estão inseridos no Maranhão. A hidrografia da região caracteriza-se por uma série de rios que deságuam no Oceano Atlântico, sendo que os principais formam as bacias dos rios Itapecuru, Gurupi, Mearim, Pindaré, Turiaçu, Grajaú e Munim.	6,2 milhões (3,2% da população do Brasil)

Fonte: Próprio autor (Base de dados ANA, 2012; ANA, 2017a)

O conjunto dessas bacias hidrográficas é monitorado pela rede hidrometeorológica nacional (Figura 32) através do Sistema de Informações Hidrológicas (*HidroWeb*), vinculado ao

Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), conforme visto na segunda parte desta pesquisa (seção 4.2). Segundo dados da ANA (2019i), a bacia com o maior número de estações pluviométricas e fluviométricas corresponde a Amazônica seguida pela bacia do Paraná e São Francisco, tendo as bacias do Parnaíba e Paraguai com o menor número de estações de monitoramento.

Figura 32: Distribuição dos postos de monitoramento fluviométricos e pluviométricos no Brasil (ano base shapefile 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Adaptado de ANA (2019)

Fonte: Próprio autor (Base de dados ANA: Metadados e ANA, 2019i).

Deve-se salientar que muitas estações de monitoramento se encontram desativadas no Brasil. Utilizando como exemplo a Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (BHSF), foi feito um levantamento na *Hidroweb* das estações de monitoramento presentes nessa bacia e analisado a situação dessas estações quanto ao seu funcionamento. Do levantamento realizado, pôde-se constatar que 1.748 postos fluviométricos e 1.878 postos pluviométricos estão cadastrados no sistema. Esses postos são gerenciados por instituições como Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF), Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf) e órgãos Estaduais. Do total identificado, 567 postos fluviométricos (32%) e 1009 postos pluviométricos (53%) se encontravam inativos.

Outro ponto importante diz respeito à carência de informações, especialmente da parte fluviométrica, presente em algumas bacias hidrográficas de domínio Estadual. Muitas dessas bacias possuem uma grande quantidade de postos inativos, ou quando estão ativos, as suas informações não estão disponibilizadas em um banco de dados acessível. Esse aspecto dificulta o desenvolvimento de pesquisas nestas áreas.

Apesar dos pontos levantados, deve-se reconhecer que a rede hidrometeorológica nacional tem avançado muito no país. Muitas estações de monitoramento têm sido automatizadas através de “diversos sensores ligados a uma plataforma de coleta de dados (PCD), com o armazenamento dos dados *in loco* por registradores e transmissão por telefonia móvel ou por satélite” (ANA, 2019i). Esse avanço tem permitido análises mais detalhada e realista do quadro de recursos hídricos no território nacional, possibilitando a prevenção de eventos críticos com maior confiabilidade.

O monitoramento das informações hidrológicas auxilia na gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica e no desenvolvimento de pesquisas científicas para avanços no setor. As bases de dados permitem estimar, por exemplo, a relação entre disponibilidade e demanda desses recursos através do balanço hídrico, sendo essa uma das principais ferramentas de controle por parte dos gestores públicos. As demandas podem ser levantadas através do cadastro de usuários intrínseco do instrumento de outorga previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH).

A espacialização dessas informações no território permite definir as áreas de maior demanda de recursos hídricos com relação à sua disponibilidade, conforme ilustra o Quadro 12. Como pode ser observado, regiões que apresentam maior densidade populacional estão presentes em regiões com menor disponibilidade de água. Esse fator associado ao crescimento populacional, à industrialização, aumento dos problemas de qualidade da água devido à crescente poluição dos rios tem desencadeado um grande número de conflitos (CASTRO, 2012), e exigido ações de gestão cada vez mais efetivas (ANA, 2019i).

Quadro 12: Relação entre população e recursos hídricos nas regiões geográficas do Brasil

Região geográfica	Área (% do total)	População (% do total)	Recursos Hídricos (% do total)
Norte	45,3	6,98	70
Centro-oeste	18,8	6,41	15
Nordeste	18,3	28,91	3,3
Sudeste	10,8	42,65	6,0
Sul	6,8	15,05	6,5

Fonte: Adaptado de Barros (2009) e Castro (2012)

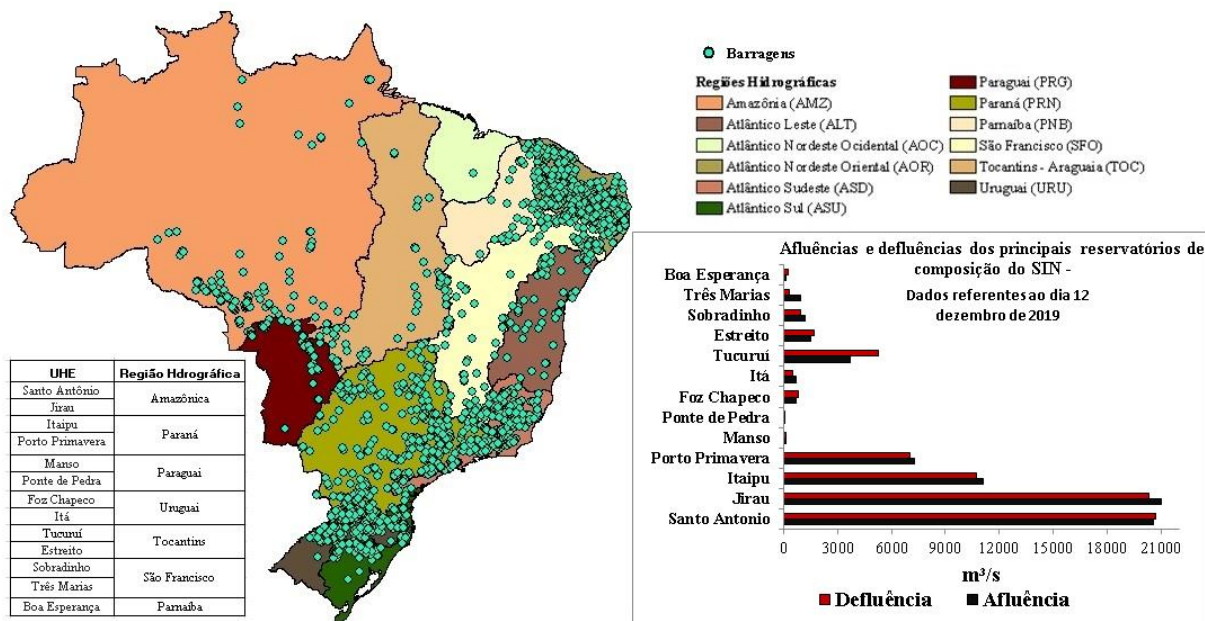
As regiões hidrográficas de maior concentração populacional do país são o Atlântico Sudeste com 28,2 milhões (14,6% da população do Brasil) e Paraná com 61,3 milhões (32,4% da população do Brasil, Quadro 11), ambas localizadas em grande parte na faixa sudeste do país. A região Amazônica se destaca quanto a disponibilidade dos recursos hídricos, apresentando uma média estimada em 132 mil m³/s, em contraste com a vazão média do Parnaíba, por exemplo, com 753 m³/s (MMA/ANA, 2006), localizado no nordeste do país. Essa disparidade pode ser entendida em termos climáticos. A precipitação média anual do Brasil é de aproximadamente 1.760 mm, porém, o total anual de chuva da região semiárida do Nordeste varia menos de 500 mm, enquanto na região Amazônia (Norte) varia mais de 3.000 mm (ANA, 2019i).

As maiores variabilidades sazonais encontram-se no Nordeste, onde apresenta também alta evapotranspiração durante todo o ano, baixo índice pluviométrico e subsolo desfavorável em algumas regiões por apresentar formação cristalina ou água salobra com valores acima de 2.500 mg/l (TUCCI *et al.*, 2000). Além disso, devido ao subsolo desfavorável, o Nordeste apresenta baixa capacidade de produção de água subterrânea, com uma estimativa de produção de poços com valores inferiores a 3 m³/h (TUCCI *et al.* 2000).

Visando amenizar os impactos provenientes da grande variação de secas em algumas regiões e cheias em outras, foram construídos reservatórios artificiais ao longo dessas bacias para armazenar água no período úmido e possibilitando liberar parte do volume armazenado em períodos de estiagem, regularizando e diminuindo as flutuações sazonais das vazões (ANA, 2015; ANA, 2019). A Figura 33 apresenta a distribuição das barragens instaladas nas bacias hidrográficas do Brasil levantadas pelas bases de dados da EPE e ANA. É possível verificar que as maiores concentrações desses empreendimentos encontram-se nas regiões nordeste, sudeste e sul do país. A Figura 33 apresenta também a relação das afluências e defluências de vazões das principais usinas de composição do Sistema Interligado Nacional (SIN). As usinas

que se destacaram, quanto aos valores de defluência, correspondem à UHE Santo Antônio e UHE Jirau, ambas localizadas na região hidrográfica Amazônica, e UHE Itaipu, localizada na bacia do Paraná.

Figura 33: Localização dos principais reservatórios nas bacias hidrográficas de gestão da ANA (ano base shapefile 2015-2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



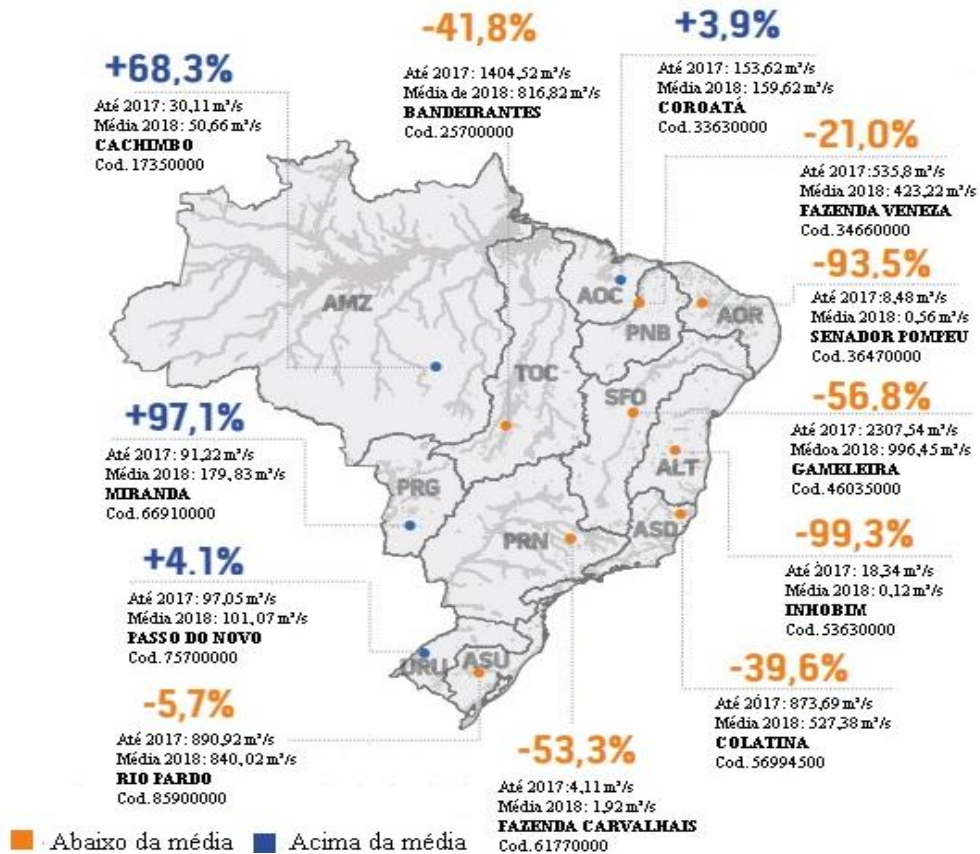
Fonte: Próprio autor (Base de dados ANA: Metadados e Sistema de Acompanhamento de Reservatórios - SAR)

O baixo índice pluviométrico que vem ocorrendo entre o período de 2012 a 2017 resultou em reduzidas recargas nos reservatórios, especialmente, na região Nordeste que no início de 2018 apresentou um volume armazenado de 13,9%, sendo 1,7% menor que o valor observado na mesma época no ano de 2017 (ANA, 2019a; ANA, 2019b). Os Estados mais atingidos com a seca entraram em situação de emergência no ano de 2018, podendo citar Alagoas, Sergipe e a porção nordeste do Estado da Bahia (ANA, 2019i).

A Figura 34 traz a diferença percentual das vazões médias ocorridas no ano de 2018. Pode-se perceber que a maior parte das bacias hidrográficas apresentaram vazões abaixo da média histórica. Apenas as bacias do Uruguai, Paraguai, Amazônica e Atlântico Nordeste Ocidental apresentam valores acima da média. As bacias que apresentaram situação mais crítica no ano de 2018 foram Atlântico Nordeste Oriental (- 93,5%) e Atlântico Leste (- 99,3%).

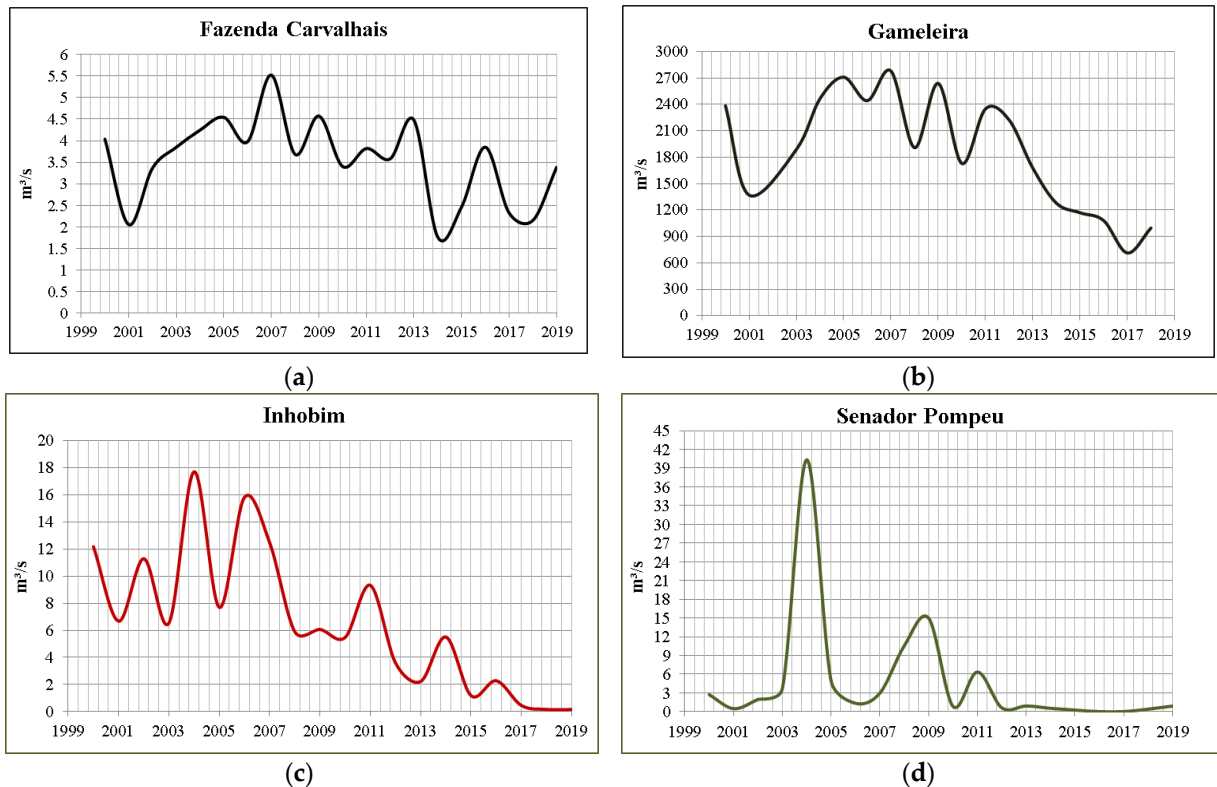
A Figura 35 complementa a Figura 34 trazendo a relação temporal da vazão, no período de 2000 – 2019, das quatro regiões hidrográficas que apresentaram maior criticidade hídrica. Mediante o período analisado, os anos mais críticos para a região hidrográfica do Paraná (Fazenda Carvalhais) foram 2001, 2014 e 2018; para as regiões hidrográficas do São Francisco (Gameleira) e Atlântico Leste (Inhobim) incluem os anos de 2017 e 2018, e para a bacia do Atlântico Nordeste Oriental (Senador Pompeu) correspondem ao ano de 2001 e todos os anos a partir de 2012. Com exceção dos dados analisados do posto fluviométrico Fazenda Carvalhais, todos os demais postos de monitoramento apresentaram baixas vazões a partir de meados do ano de 2013, de forma mais marcante na bacia do Atlântico Nordeste Oriental (Senador Pompeu).

Figura 34: Diferença percentual das vazões médias ocorridas em 2018



Fonte: Adaptado da ANA (2019i)

Figura 35: Distribuição das vazões no período de 2000 – 2019 para os postos fluviométricos localizados em quatro regiões hidrográficas



Fonte: Próprio autor (Base de dados da Hidroweb – ANA). (a) 61770000; (b) 46035000; (c) 5363000; (d) 3647000

As baixas vazões apresentadas nessas regiões, de forma mais acentuada nos últimos anos, associada ao aumento das demandas pelo uso da água, tem desencadeado interferências também nas recargas subterrâneas. A utilização de águas subterrâneas tem crescido consideravelmente nas últimas décadas para atender aos diversos usos (VASCONCELOS, 2017). Um dos maiores problemas que está associado à esse crescimento, refere-se a falta de controle e conhecimento na relação entre disponibilidade e demanda em função especialmente, da carência de informações sobre esse recurso (CPRM, 2000). A maioria dos estudos que envolvem águas subterrâneas é baseado em estimativas. Neste sentido, a ANA (2019i) estima uma disponibilidade de água subterrânea no Brasil em torno de 14.650 m³/s.

De acordo com a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM (2000), a quantidade de registros sobre poços tubulares são dispersos e/ou inacessíveis, e quando existem, apresentam muitas vezes negligências nas suas informações. No Brasil, Zoby & Matos (2002) estima um crescimento anual de poços construídos de 13.000 unidades, tendo um total de poços existentes de 400.000 unidades, considerando o crescente aumento de empresas de perfuração de poços. Segundo os autores, o país ainda apresenta uma grande deficiência no conhecimento “do potencial hídrico de seus aquíferos e do seu atual estágio de exploração” (ZOBY & MATOS, 2002). A CPRM (2000) estima que no nordeste existam 150.000 poços tubulares. No entanto, para Cardoso *et al.* (2008) existem cadastrados no banco de dados do SIAGAS (Sistema de Informações de Águas Subterrâneas) até janeiro de 2008 cerca de 92.700 poços na região. A CPRM, no ano de 2014, apresentou uma relação dos postos cadastrados no SIAGAS e seus respectivos volumes explorados (Quadro 13).

Quadro 13: Número de poços cadastrados no SIAGAS e volume anual explorado

Região geográfica	Nº poços	Vol. Anual explorado (m ³)	% Brasil (Vol. Anual)
Norte	18.606	1.321.085.722	14,11
Nordeste	141.015	3.844.738.056	41,08
Centro-Oeste	8.291	477.940.113	5,11
Sudeste	39.421	2.246.994.963	24,01
Sul	34.359	1.468.927.248	15,69
Total	241.692	9.359.686.101	100

Fonte: Adaptado de Diniz *et al.* (2014)

Percebe-se que a região de maior perfuração de poços, segundo cadastro do SIAGAS no período analisado, é o Nordeste seguido pelo Sudeste, sendo que ambas às regiões possuem baixa disponibilidade hídrica comparada às demais regiões geográficas do país, como referido nos dados apresentados no Quadro 12.

Assim como águas superficiais, a distribuição das águas subterrâneas não é uniforme no território nacional, como mostra a Figura 36. Existem localidades com maior disponibilidade hídrica, como as do Aquífero Guarani e aquíferos sedimentares de forma geral, e localidades com baixa disponibilidade como os aquíferos provenientes de rochas cristalinas característico da região semiárida brasileira (CARDOSO *et al.*, 2008).

No Brasil, as águas subterrâneas foram agrupadas em nove províncias hidrogeológicas em função, especialmente de fatores geológico e fisiográfico (PESSOA *et al.*, 1980; FEITOSA *et al.*, 2008):

(a) Escudo Setentrional: Compreende parte dos Estados do Amazonas, Roraima, Pará e Amapá. Província que carece de informações. Estima-se boas condições hidrogeológicas em função do alto índice pluviométrico da região.

(b) Amazonas: Cobre toda região hidrográfica do Amazonas contemplando aquíferos locais livres ou confinados com boa qualidade de água;

(c) Escudo Central: Possui carência de informações hidrogeológicas, no entanto, segundo a Feitosa *et al.* (2008) estima-se que os aquíferos mais promissores correspondem aos arenitos proterozóicos com razoável disponibilidade hídrica;

(d) Parnaíba: Bacia sedimentar do Parnaíba é a mais importante província hidrogeológica do Nordeste, com diversos poços perfurados, cujas águas são a principal fonte de abastecimento da população das cidades nela localizadas;

(e) São Francisco: Possui a grande função reguladora, importante para o deflúvio superficial da zona média do Rio São Francisco;

(f) Escudo Oriental (Nordeste e Sudeste): Com 400 mil km², atinge parte dos Estados do Ceará, Piauí, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Bahia, Minas, Goiás, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina. De forma geral, apresenta potencial hidrogeológico muito fraco na região nordeste e fraco à médio para região sudeste. Predomínio de rochas cristalinas;

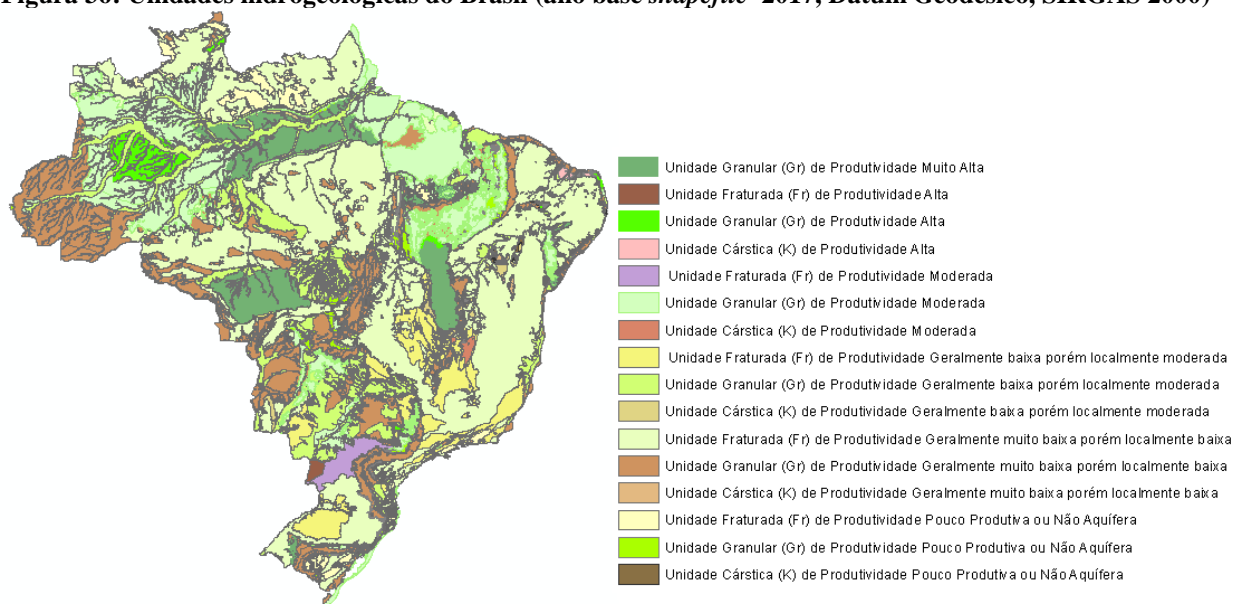
(g) Paraná: Corresponde à Bacia do Paraná que juntamente com a Província do Escudo Oriental, representa 89% das captações de águas minerais do Brasil. O aquífero mais importante é o Guarani;

(h) Escudo Meridional: Localiza-se no extremo sul do país, apresenta aquíferos restritos às zonas fraturadas das rochas cristalinas. Os altos índices pluviométricos dessa região asseguram a recarga dos aquíferos;

(i) Centro-Oeste: Constituído por sedimentos heterogêneos, esta região compreende pequenas parcelas dos Estados de Rondônia, Pará, Tocantins e Goiás e grande parcela do Estado do Mato Grosso. Compõe quatro subprovíncias: Ilha do Bananal, Alto Xingu, Chapada dos Parecis, e Alto Paraguai, localizados na região centro-oeste do país;

(j) Costeira: Constitui uma faixa estreita descontínua, que de forma geral, abrange o litoral que vai desde o Amapá até o Rio Grande do Sul.

Figura 36: Unidades hidrogeológicas do Brasil (ano base *shapefile* 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Próprio autor (Base de dados da CPRM)

Tanto as águas subterrâneas quanto superficiais têm sido pressionadas consideravelmente nas últimas décadas pelo aumento das demandas, especialmente, pelo setor agrícola. Projeções da ANA (2019h) apontam um aumento das retiradas de água para atender às suas demandas

cerca de 2.600 m³/s em 2030, o que corresponde a um aumento de aproximadamente 2.000% com relação às retiradas de vazão referentes ao ano de 1931 (100 anos). Atualmente, o Brasil registra uma vazão total de retirada de aproximadamente 2.047,9 m³/s (Quadro 14). A distribuição do uso da água por tipo de demanda, mostra que as atividades de irrigação e industrial equivalem juntas a 59,4% do total de recursos hídricos retirados. A irrigação representa seu maior usuário com 49,8% e o abastecimento rural o menor usuário com 1,65%.

Quadro 14: Relação das vazões de retirada, consumo e retorno de água referentes às diferentes demandas

Demandas	Retirada (m³/s)	Consumo (m³/s)	Retorno (m³/s)
Irrigação	1019,9	728,1	291,8
Abastecimento urbano	500,6	100,1	400,5
Abastecimento rural	33,8	27,1	6,8
indústria	195,6	105,1	90,5
Mineração	34,5	10,1	24,4
Termelétrica	92,7	2,9	89,8
Uso animal	170,8	128,0	42,8
Total	2047,9	1101,4	946,6

Fonte: Adaptado da ANA (2019i).

Analisando o consumo e o retorno referentes às retiradas de água pelos diferentes usos, percebe-se que, a irrigação também detém o maior consumo, porém, o abastecimento urbano corresponde a maior vazão de retorno. Por exemplo, o Quadro 14 aponta uma retirada de água de 500,6 m³/s para abastecimento urbano, um consumo de 100,1 m³/s, o que gera um retorno de 400,5 m³/s (aproximadamente 80% de retorno e 20% de consumo).

Enquanto que para o caso das termelétricas, o Quadro 14 apresenta uma retirada de 92,7 m³/s, um consumo de 2,9 m³/s e um retorno de 89,8 m³/s. As relações entre retirada, consumo e retorno de água em termelétricas são variáveis principalmente em função do sistema de resfriamento utilizado pela usina. Considerando o alto valor da retirada em comparação ao baixo consumo, o sistema de resfriamento considerado nesses quantitativos tende a ser característico de sistema aberto.

Essas relações são importantes para analisar a dimensão dos efluentes que são gerados em cada tipo de uso. Importante conhecer a distribuição desses usos nas regiões hidrográficas para poder compreender a intensidade e localização dos principais poluentes de águas superficiais e subterrâneos.

Para a ANA/MMA (2006), a região hidrográfica que mais utiliza água é a do Paraná, com 478 m³/s, sendo 30% da retirada e 23% do consumo, e em contrapartida, a região mais crítica por apresentar retiradas superiores à disponibilidade hídrica é o Atlântico Nordeste Oriental, (1.200 m³/hab/ano em média) devido à intermitência de seus corpos d'água. A Tabela 18 traz as captações de água para diferentes usos nas regiões hidrográficas e a Figura 37 ilustra suas relações de retirada, consumo e retorno.

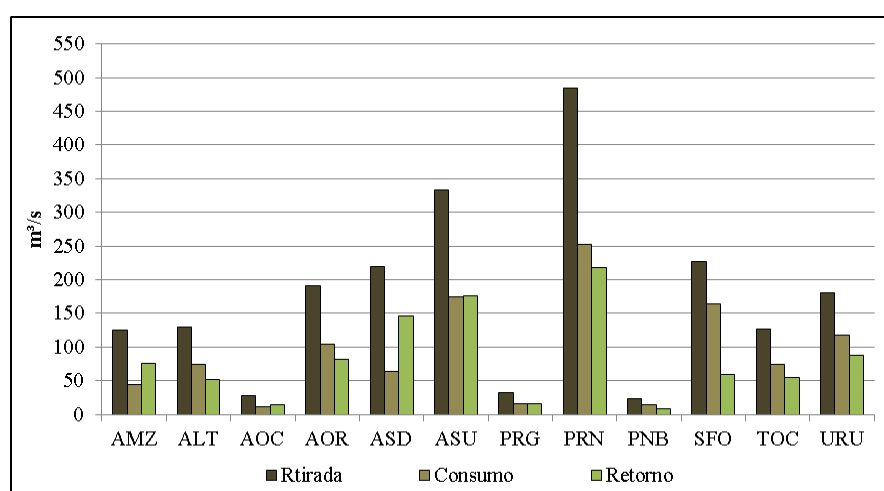
Tabela 18: Demandas de água das regiões hidrográficas brasileiras

Região Hidrográfica/ Múltiplos usos	Amazônica	Atlântico Leste	Atlântico Nordeste	Atlântico Sudeste	Atlântico Sul	Paraguaí	Paraná	Parnaíba	São Francisco	Tocantins	Uruguai
Abastecimento Público (%)	56	9,4	43,7	45	14,4	77	16	12	6,2	19	5,9
Aquicultura (%)	0,5	0,3	9,2	0,1	-	3,9	7,2	1,3	0,9	1,3	0,1
Criação Animal (%)	-	0,2	0,2	-	-	-	0,2	-	0,1	0,1	-
Indústria (%)	12,2	19	4,2	44	2,1	7,2	20	0,4	0,2	16	5,8
Irrigação (%)	20,8	63	30,8	5,5	77,8	7	54	86	82	40	88
Mineração (%)	6,7	7,2	4,9	1,9	-	-	2,6	0,5	0,7	2,3	-
Termelétrica (%)	2,2	0,9	1,5	1,8	5,7	5,4	0,8	-	0,1	8,1	-
Outras finalidades (%)	1,6	0,1	5,6	1,6	-	-	0,2	-	10	14	-
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Fonte: Próprio autor (Base de dados Cadastro de Outorgas - ANA, 2019)

Das bacias hidrográficas apontadas na Tabela 18, mais de 50% delas possuem os valores mais expressivos na captação de água para o setor de irrigação. Na bacia do São Francisco e Uruguai estes valores chegam à 86% e 88% respectivamente. Atualmente, em termos de quantidade utilizada, o principal usuário de água do país é a irrigação (ANA, 2019). Analisando as demandas para o setor industrial, a bacia do Atlântico Sudeste detém a maior captação de água com 44%. A ANA (2019i) traz como regiões mais críticas do país, o Sudeste pelas demandas crescentes de água para irrigação, abastecimento humano e indústria; o sul em função principalmente do setor de irrigação de lavouras de arroz utilizando métodos de irrigação que demanda um grande volume de água (inundação); e o nordeste pelo grande desnívelamento entre disponibilidade e demandas.

Figura 37: Relação da retirada, consumo e retorno nas regiões hidrográficas do Brasil (1955 – 2016)



Fonte: Próprio autor (Base de dados ANA, 2017a)

A bacia do Atlântico Sul (AUS), como pode-se observar, apresenta uma relação de consumo e retorno bem semelhantes, diferentemente da bacia do rio São Francisco (SFO) onde o consumo é muito superior ao retorno. As maiores vazões de retorno são encontradas na bacia

do Atlântico Sudeste (ASD) e na bacia do Paraná (PRN), onde também caracterizam-se por possuírem as maiores retiradas de água e as maiores densidades demográficas conforme já citado anteriormente.

As regiões hidrográficas de maior densidade demográfica e intensa industrialização tendem a concentrar os maiores conflitos pelo uso da água e apresentar um alto grau de poluição dos recursos hídricos (CASTRO, 2012). Conforme ilustra o Quadro 15, as regiões hidrográficas do Paraná, Atlântico Sudeste, Atlântico Nordeste Oriental, e São Francisco concentram-se as maiores cargas orgânicas domésticas remanescentes. No entanto, das regiões citadas, a que possui a menor incidência de esgoto tratado é a bacia do rio São Francisco.

Quadro 15: Características das regiões hidrográficas mediante as atividades econômicas, carga orgânica e esgotamento sanitário.

Região Hidrográfica	Principais atividades econômicas	Carga orgânica doméstica remanescente (2008)	% de esgoto tratado em relação ao esgoto gerado	% população urbana atendida por rede de esgotamento sanitário
Amazônica	Indústria eletroeletrônica, agroindústria, pecuária, exportação mineral, exportação mineral, exportação de madeira, exploração de gás/ petróleo.	275 t DBO/dia (5,0% da carga remanescente no Brasil)	4,6%	6,2%
Tocantins-Araguaia	Agropecuária, mineração, geração de energia e extrativismo vegetal	257 t DBO/dia (4,7% da carga remanescente em relação ao Brasil)	7,9% (Brasil: 30,5%)	8,0%
Parnaíba	Agropecuária, aquicultura, indústria sucro-alcooleira e geração de energia	109 t DBO/dia (2% da carga remanescente em relação ao Brasil)	6,2%	6,5%
Atlântico Nordeste Oriental	Agricultura, indústria, mineração, produção de petróleo, turismo	710 t DBO/dia (13% da carga remanescente em relação ao Brasil)	22,2%	24,1%
São Francisco	Indústria, mineração, agropecuária, geração de energia	401 t DBO/dia (7,3% da carga remanescente em relação ao Brasil)	21,6%	57,4%
Atlântico Leste	Produção petroquímica, cimento, matadouros, frigoríficos, curtumes, celulose e papel, fertilizantes, siderurgia, grande metalurgia, fabricação de resinas e fibras sintéticas, usinas sucro-alcooleiras	391 t DBO/dia (7,1% da carga remanescente em relação ao Brasil)	29%	35,9%
Atlântico Sudeste	Indústrias de papéis, têxteis, alimentícias, siderúrgicas, químicas e petroquímicas	809 t DBO/dia (14,7% da carga remanescente em relação ao Brasil)	34,5%	53,9%
Paraná	Energia, beneficiamento de bens minerais, química/petroquímica, agroindústrias, alimentícia, agricultura/pecuária, madeira, indústria, automotiva e mobiliária	1.779 t DBO/dia (32,3% da carga remanescente em relação ao Brasil)	44%	59,8%
Paraguai	Indústria de alimentação (grãos, carne, leite), bebidas, couros e peles, sucroalcooleira, pecuária, energia.	68 t DBO/dia (1,2% da carga remanescente em relação ao Brasil)	12,6%	14%
Uruguai	Agroindústria, pecuária, geração de energia	117 t DBO/dia (1,2% da carga remanescente em relação ao Brasil)	8,9%	9,1%
Atlântico Sul	Agroindústria, petroquímica, coureiro-calçadista têxtil, mineração	443 t DBO/dia (8% da carga remanescente em relação ao Brasil)	27,7%	27,9%
Atlântico Nordeste Ocidental	Agropecuária e Indústrias	154 t DBO/dia (2,8% da carga remanescente em relação ao Brasil)	7,1% (Brasil: 30,5%)	13,2% (Brasil: 42,6%)

Fonte: Próprio autor (Base de dados ANA, 2012)

A RH do Paraná, apesar de apresentar uma das maiores regiões com níveis de tratamento do Brasil (remoção de carga orgânica maior que 60%), possui a maior carga residual em corpos hídricos (ANA, 2017). Enquanto que as regiões hidrográficas da Amazônica, Tocantins-Araguaia e Atlântico Nordeste Ocidental predominam municípios com os menores índices de remoção de carga orgânica.

Segundo a ANA (2017), no Brasil são geradas em média cerca de 9,1 mil toneladas de DBO/dia, sendo que o total de 106 municípios com população maior que 250 mil habitantes são responsáveis por 48% do valor estimado. Além da DBO, vários outros poluentes (como por exemplo, metais pesados, coliformes, nitrogênio, fósforo, dentre outros) são lançados nos corpos d'água diariamente provenientes de várias atividades econômicas.

É possível apontar como principais agentes de degradação da qualidade das águas superficiais e subterrâneas: indústrias em seus diversos ramos (GUEDES, 2011), à falta do saneamento básico em muitas regiões do país (BOLLMANN & MARQUES, 2006; FREITAS *et al.*, 2016); mineração (VON SPERLING, 1995); resíduos sólidos (VON SPERLING, 1995); e o intenso uso de pesticidas na agropecuária (DELLAMATRICE & MONTEIRO, 2014). Além desses fatores, a qualidade da água também é condicionada por fatores naturais, como por exemplo, regime de chuvas, escoamento superficial, geologia e cobertura vegetal (VON SPERLING, 1995).

Os efluentes industriais e a falta de saneamento são as duas principais fontes de contaminação de corpos d'água. A água está presente em todo setor industrial. A intensidade do uso desses recursos depende de vários fatores, dentre eles, a tecnologia do processo produtivo (perfil industrial), o tipo de produto, boas práticas e maturidade da gestão empresarial (CNI, 2013).

No Brasil, o setor industrial foi responsável por 16,2% do Produto Interno Bruto (PIB), seguido do setor agropecuário (5,3%) e construção civil (5,2%), para o ano de 2017 (FIESP/CIESP, 2019). A maior concentração de indústrias está na região Sudeste, com destaque para indústria química e automobilística. No sul, destaca-se a agroindústria direcionada para o beneficiamento e transformação de produtos primários. No nordeste destacam-se a produção têxtil e sucroenergético, e as regiões Norte e Centro-Oeste, apresentam as menores participações no setor industrial do país, com destaque para a agroindústria (ANA, 2017c).

Os Estados que apresentam valores expressivos de vazões de retirada e consumo de água no setor industrial referem-se a São Paulo (ano base 2015 - 5,20 m³/s e 1,31 m³/s, respectivamente) e Rio de Janeiro (ano base 2015 - 5,01 m³/s e 1,17 m³/s, respectivamente) (ANA, 2017c).

Segundo a ANA (2017c), cinco grupos industriais são responsáveis por 83% da demanda de consumo de água do país (65% da demanda de retirada), sendo eles, fabricação e refino de açúcar; fabricação de biocombustíveis; fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel; abate e fabricação de produtos de carne; e siderurgia. Nesses grupos, destacam-se as indústrias sucroalcooleiras que são caracterizadas pelo uso intenso de água, as usinas de açúcar possuem um uso médio de 22 m³/t de cana total (RIBEIRO, 2011). Das indústrias citadas, as que possuem maior vazão de retorno são a fabricação de celulose/papel e o abate e fabricação de produtos de carne.

Nos matadouros e frigoríficos os efluentes gerados chegam a uma estimativa de 70%, curtumes alcançam até 90% e detergentes, alcançam 100% de efluentes gerados segundo a (ANA, 2013). A Tabela 19 traz a relação das vazões de retirada, consumo e retorno (efluentes) das principais indústrias brasileiras. É possível apontar, além das indústrias mencionadas, a fabricação de aeronaves e fabricação de produtos farmoquímicos e

farmacêuticos com valores expressivos, 2175 m³/unidade produzida e 250 m³/t produzida, respectivamente. Outras indústrias em destaque na geração de efluentes são a preparação e fiação de fibras têxteis, fabricação de produtos do fumo, produtos químicos orgânicos e produção de tubos de aço.

Para se conhecer o grau de poluição é necessário investigar os tipos e concentrações de poluentes presentes em cada processo industrial, nível de tratamento utilizado por esses empreendimentos no tratamento dos efluentes, caso existam, o porte da indústria e a disposição final de seus resíduos líquidos.

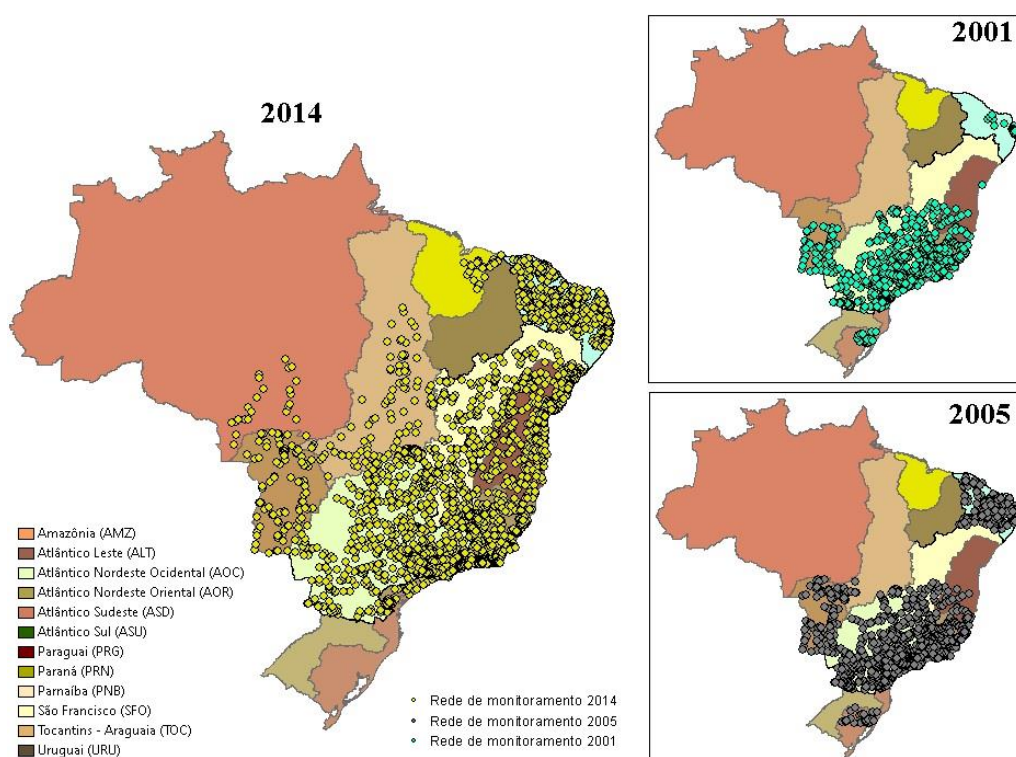
Tabela 19: Minuta da matriz de coeficientes técnicos de recursos hídricos para o setor industrial brasileiro.

Tipologia industrial	Coeficientes técnicos de uso da água (m ³ /unidade da atividade)			
	Unidade	Retirada	Consumo	Efluente
Extração de carvão mineral	t produzida	6,25	1,25	5,00
Extração de minério de ferro	t produzida	1,05	0,18 - 1,00	0,87
Extração de minério de metais preciosos	t produzida	0,14 - 1,78	0,05 - 1,67	0,14 - 0,37
Confecção de artigos do vestuário e acessórios	mil peças	11,9	2,2	9,8
Acabamentos em fios, tecidos e artefatos têxteis	t produzida	19 - 104	3,5-20	15-83
Preparação e fiação de fibras têxteis	t produzida	115 - 118	22-23	93 - 96
Fabricação de produtos do fumo	t matéria-prima	31,25	6,25	25,00
Fabricação de malte, cervejas e chopes	m ³ produzido	4,0-5,4	0,8 -1,2	3,2-4,3
Fabricação de bebidas não alcoólicas	m ³ produzido	1,6-2,1	0,6-0,7	1,1-1,4
Fabricação de conservas de frutas, legumes e outros vegetais	t matéria-prima	18,75	3,75	15,00
Laticínios	m ³ de leite	1,1-2,0	-	1,6-2,2
Abate de suínos, aves e outros pequenos animais	t animal vivo	4,00-12,00	0,50 - 1,50	3,50 - 10,50
Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	t produzida	1,39	0,53	0,87
Fabricação de aeronaves	Unidade produzida	2484	309	2175
Fabricação de máquinas e equipamentos	Unidade produzida	2,2-9,7	0,4-1,9	1,8 -7,8
Fundição	t produzida	5	1	4
Produção de tubos de aço, exceto tubos sem costura	t produzida	1,25-52,5	0,25-10,5	1,0 - 42,0
Siderurgia	t aço bruto	33,6	8,7	24,7
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	t produzida	312,5	62,5	250,0
Fabricação de defensivos agrícolas e desinfetantes domissanitários	t produzida	10,3	3,3	7,0
Fabricação de produtos químicos orgânicos	t produzida	2 - 70	1 - 30	2 - 40
Fabricação de produtos químicos inorgânicos	t produzida	3 - 16	2 - 12	2 - 4
Fabricação de produtos derivados do petróleo	barris petróleo	0,188	0,038	0,15
Fabricação de produtos diversos de papel, cartolina, papel-cartão e papelão ondulado	t papel	13 - 27	4 - 9	9,0 -18,0
Fabricação de papel, cartolina e papel-cartão	t papel	10-46,3	1,8-8,4	8,2-37,9

Fonte: Adaptado de FBB/MMA/FUNARBE (2011)

O monitoramento dos poluentes lançados nos corpos hídricos em função dessas atividades é de extrema necessidade na gestão dos recursos hídricos assim como o monitoramento das variáveis pluviométricas e fluviométricas. Diante disso, a Figura 38 apresenta a localização dos principais pontos de monitoramento de qualidade da água dos Estados brasileiros. A distribuição desses pontos no território nacional é bastante desigual, concentrando-se em algumas bacias hidrográficas (ANA, 2012). Segundo o Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do Brasil, o Estado com maior concentração de pontos de monitoramento é Minas Gerais, com 531 coordenados pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), seguido pelos Estados de São Paulo com 408 coordenado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), e Ceará com 396, coordenados pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) (ANA, 2012).

Figura 38: Rede de monitoramento Estadual de qualidade da água (ano base *shapefile* 2014, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Próprio autor (Base de dados portal de Metadados/ANA)

O monitoramento da qualidade da água é a base para o planejamento e efetividade de ações de controle da poluição associado ao desenvolvimento dos instrumentos de gestão (ANA, 2019). Gontijo Júnior (2007) citado por Almeida (2013) enfatiza a relação da necessidade do monitoramento da qualidade da água para o desenvolvimento dos instrumentos de gestão da PNRH:

- **Enquadramento dos corpos d'água:** Fornecer dados necessários para identificação das condições atuais de qualidade de água visando avaliar se a classe de qualidade de água atual atende aos usos estabelecidos no enquadramento.
- **Cobrança pelo uso da água:** Fornecer informações para a implementação de critérios e mecanismo adequados ao alcance dos objetivos definidos pela cobrança.
- **Outorga de Direito de Uso:** Fornecer informações de qualidade e quantidade de água para analisar critérios de concessão para autorização de uso, possibilitando os “poderes

outorgantes fiscalizar e monitorar o cumprimento das condições previstas nos instrumentos de outorga” (ALMEIDA, 2013).

- **Plano de bacia:** Fornecer informações que permitirão “diagnosticar, prever ou verificar” (ALMEIDA, 2013) a evolução do planejamento e gestão dos recursos hídricos de uma bacia hidrográfica.

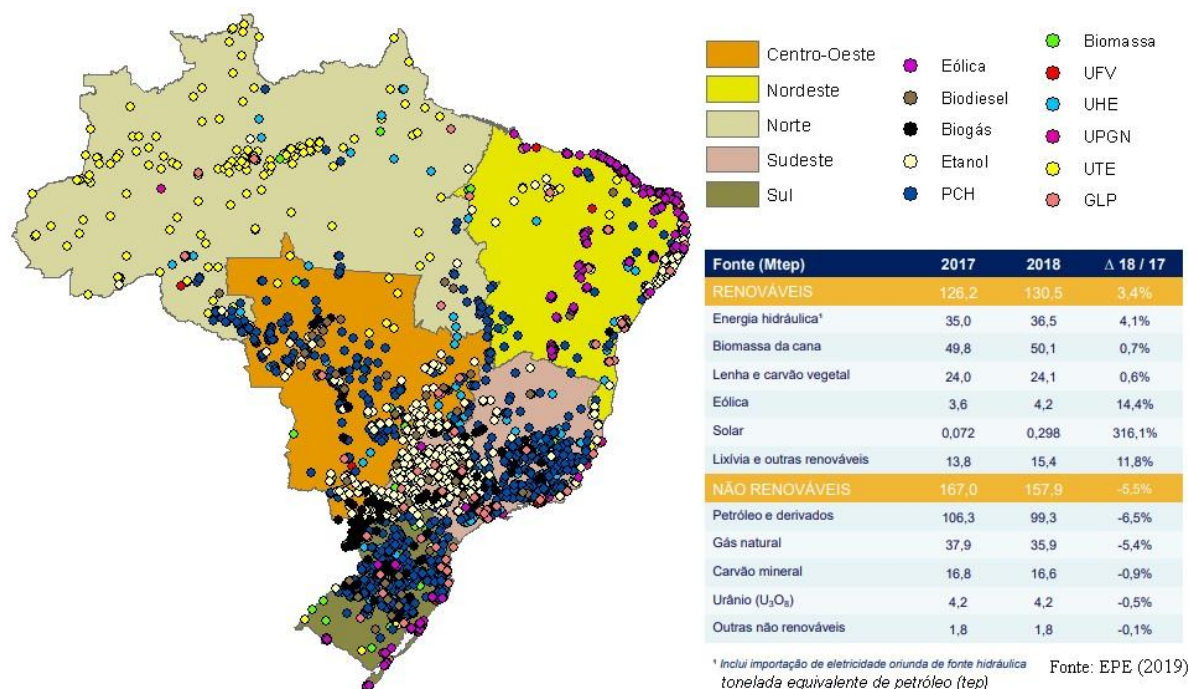
4.3.1.2 Energia

A energia participa de todos os processos ligados a vida, e sua função primordial é realizar trabalho (EPE, 2005). Como propriedade da matéria, a energia pode ser apresentada nas seguintes formas segundo a EPE (2005): energia mecânica (trabalho) – potencial e cinética; energia térmica (calor) – energia interna e entalpia; energia das ligações químicas (energia química); energia das ligações físicas (energia nuclear); radiação eletromagnética – (energia luminosa); e energia elétrica. Para este estudo, as formas de energia que são considerados nas análises envolvem a energia útil que é convertida em serviços energéticos, como por exemplo, para desenvolver as atividades de transporte, aquecimento, resfriamento, e iluminação.

Existem várias tecnologias de utilização dessas formas de energia, divididas nas áreas de renováveis e não renováveis. As fontes e as tecnologias utilizadas no mundo tendem a ser alteradas à medida que surgem novas reservas energéticas e avanços nas técnicas de extração, tratamento e produção. Em função das dinâmicas econômicas, políticas e comerciais, as matrizes energéticas globais têm sido, ao longo da história, reavaliadas e modificadas. Várias instituições nacionais (EPE, ANP, MME, ONS, etc.) e internacionais (International Energy Agency - IEA) têm realizado o acompanhamento dessas mudanças e consolidado quantitativamente às estatísticas desses balanços ao longo do tempo.

Diante disso, a Figura 39 apresenta o levantamento das principais usinas de energia, em operação (que iniciaram a operação comercial a partir da primeira unidade geradora), distribuídos no Brasil, segundo o banco de dados da Empresa de Pesquisa Energética (WEB MAP EPE) e a oferta interna de energia 2018/2017 com base no Balanço Energético Nacional (BEN) (EPE, 2019).

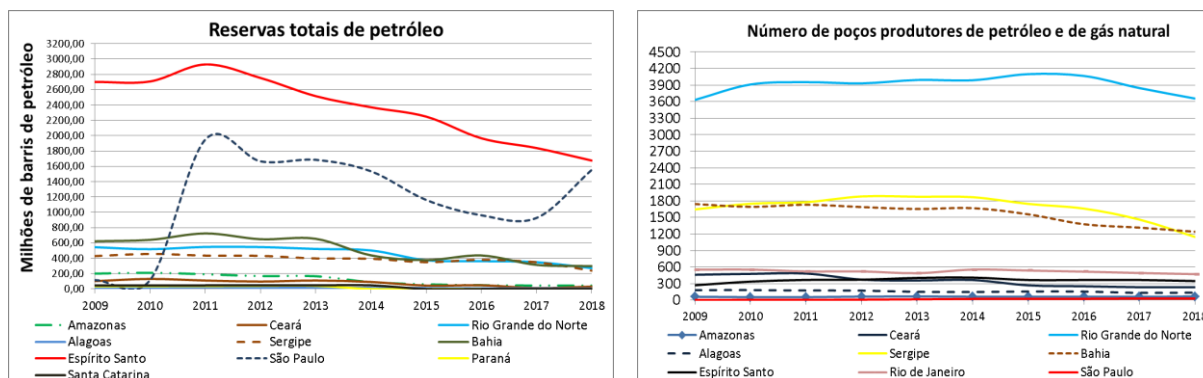
Figura 39: Principais Usinas de energia em operação distribuídas no Brasil e oferta interna de energia 2018/2017 (ano base shapefile 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)

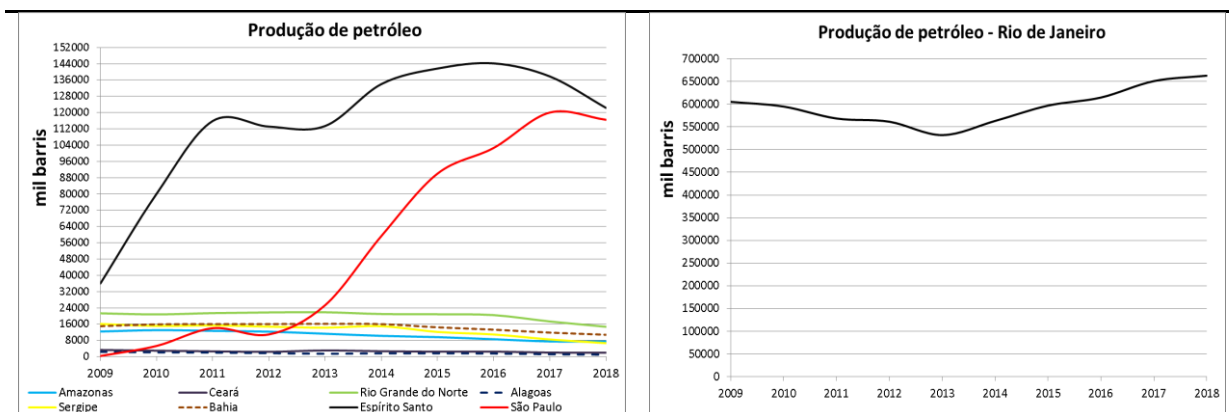


Fonte: Próprio autor (Base de dados da WEB MAP EPE e EPE, 2019). PCH - Pequena Central Hidrelétrica; UHE - Usina Hidrelétrica; UFV - Usina Fotovoltaica; UTE - Usina Termelétrica; GLP - Gás Liquefeito de Petróleo; UPGN - Unidade de Processamento de Gás Natural.

Pode-se perceber a alta participação do petróleo e seus derivados na matriz energética brasileira, com 106,3 Mtep no ano de 2017 e um decaimento no ano de 2018 com 99,3 Mtep. As maiores reservas e produção de petróleo no Brasil estão localizadas nos Estados do Rio de Janeiro seguido pelo Espírito Santo e São Paulo, de acordo com os dados da ANP (2019). No entanto, o Estado de maior perfuração de poços produtores de petróleo e gás nos últimos nove anos é o Rio Grande do Norte seguido por Sergipe e Alagoas (Figura 40). Os Estados do Paraná e Santa Catarina possuem as menores reservas de petróleo do país.

Figura 40: Reserva, produção e número de poços produtores de petróleo no Brasil





Fonte: Próprio autor (Base de dados da ANP)

A redução das reservas de petróleo, associado à volatilização dos seus preços e aos avanços nas políticas públicas, como por exemplo, o Renovabio, tem incentivado o aumento da participação da biomassa como fonte de energia. Em 2018, o petróleo variou de R\$ 175,00/barril à R\$ 258,00/barril nos Estados brasileiros, tendo seus maiores valores no Amazonas, Maranhão e Bahia (ANP, 2019). Enquanto em 2019, o barril de petróleo variou de R\$ 97,00/barril à R\$ 117,00/barril (ANP, 2019). Segundo Vidal (2019), os aumentos sucessivos no preço da gasolina nos últimos anos associado aos baixos preços do açúcar no mercado mundial tem auxiliado significativamente o crescimento dos biocombustíveis no Brasil.

Além desses fatores, outro impulsor do crescimento das bioenergias são as mudanças climáticas, especificamente, em função das altas emissões de CO₂ por oxidação do carbono contido nos combustíveis fósseis. Em 2010, 35% das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) foram liberados pelo setor de energia, 24% (emissões líquidas) pelo setor de agricultura, silvicultura e outras utilizações do solo, 21% pela indústria, 14% pelos transportes e 6,4% para edifícios (IPCC, 2014). Com o aumento das preocupações em relação ao aumento da temperatura global, cresceram concomitantemente, pesquisas e incentivos na área de bioenergias.

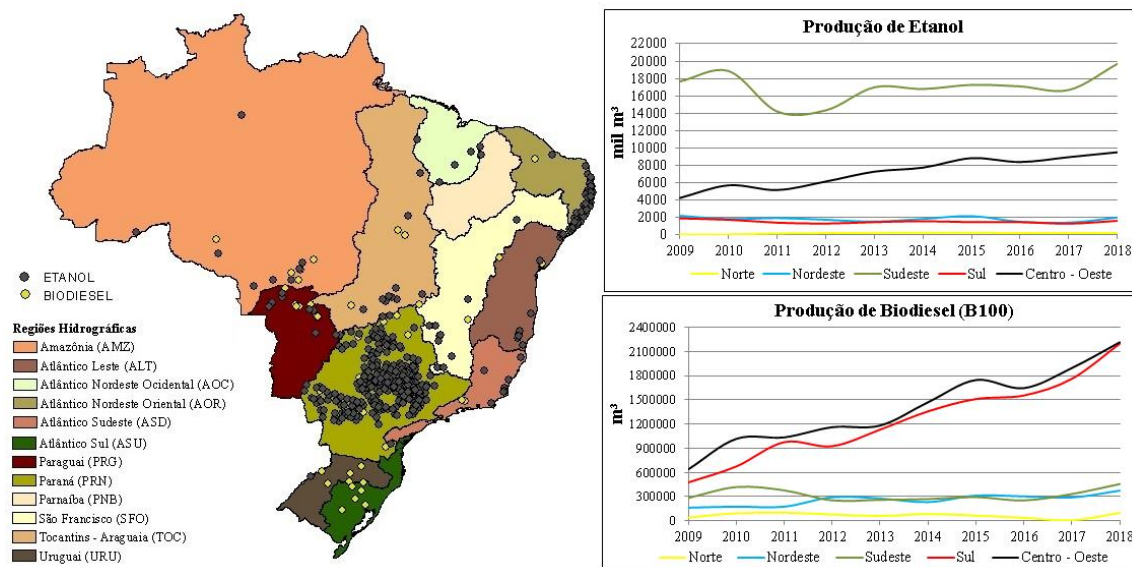
No ano de 2016, a oferta total de bioenergia, segundo o EPE (2017), representou um montante de 29,9% de participação na matriz energética, tendo os produtos da cana (bagaço e etanol) com 58,4%, a lenha com 26,8%, e outras biomassas (lixívia, resíduos de madeira, resíduos da agroindústria e biodiesel) com 14,8%. No ano de 2018, a biomassa da cana alcançou 50,1Mtep (Figura 39).

No banco de dados da EPE (WEB MAP EPE), ano base de 2018, foram identificadas 381 usinas de etanol, 110 plantas de produção de biodiesel e 125 usinas de biogás. Para as plantas de biogás, estão presentes em maior domínio na região Sudeste e Sul, especialmente nos Estados do Paraná, Santa Catarina, São Paulo, Rio Grande do Sul e Minas Gerais. Segundo o banco de dados da EPE, as principais categorias de produção de biogás são procedentes da indústria (maior parte originária de indústrias de alimentos e bebidas); agropecuária (maioria originária da suinocultura e bovinocultura de leite ou de corte); aterro Sanitário; Estação de Tratamento de Esgoto (efluente e o lodo); e codigestão (resíduos e efluentes). Importante destacar que não foi verificado o número de usinas paralisadas do total de unidades geradoras mencionadas anteriormente.

Para o etanol (anidro + hidratado), a região de maior produção no Brasil é o Sudeste, com destaque para o Estado de São Paulo e Minas Gerais, conforme pode ser visto na Figura 41. Quanto a produção de biodiesel, as maiores produções cabem às regiões do centro-oeste

(especialmente, Mato Grosso e Goiás) e sul (especialmente, Rio Grande do Sul e Paraná). A produção no ano de 2019 alcançou na região Centro-Oeste 2.441.756 m³ de biodiesel B100 (puro, 100%) e 2.396.868 m³ de biodiesel B100 na região sul no mesmo ano (ANP, 2019). Nessas regiões observa-se também um crescimento acentuado na produção de biodiesel nos últimos nove anos.

Figura 41: Distribuição da produção de etanol e biodiesel no Brasil (ano base *shapefile* 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Próprio autor (Base de dados da ANP)

Além da participação dos biocombustíveis no setor de transportes, destaca-se ainda sua participação na matriz elétrica brasileira. De acordo com o Banco de Informações de Geração (BIG) (ano base janeiro de 2020) da ANEEL, às plantas movidas a biomassa tem crescido consideravelmente, tendo um montante de 570 plantas em operação de combustíveis de classe de biomassa: Licor Negro (total de 18 plantas); resíduos de floresta (total de 104 plantas); capim elefante (2 plantas); biogás (da agroindústria, total de 3 plantas; de florestas, total de 1; resíduos animais, 14; e resíduos sólidos urbanos, total de 22); bagaço da cana de açúcar (405 plantas); biocombustíveis líquidos (total de 3 plantas); carvão vegetal (8 plantas); e casca de arroz (13 plantas) (ANEEL, 2019a).

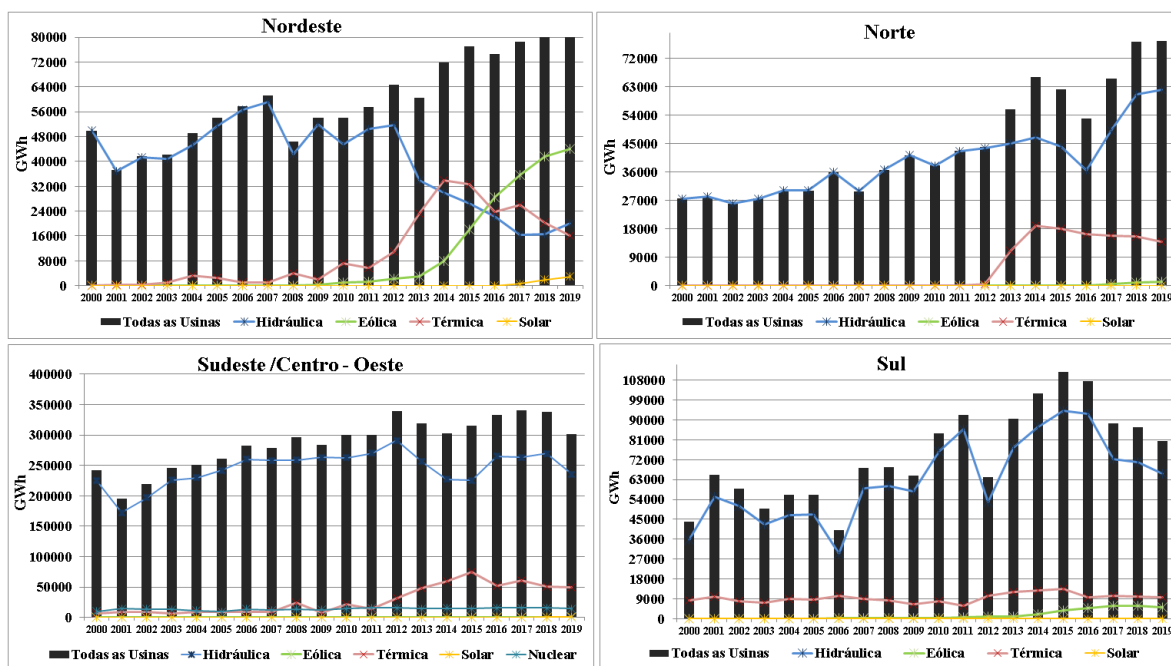
Grande parte dessa biomassa tem subsidiado usinas termelétricas, em especial, pela queima do bagaço da cana-de-açúcar. Além da biomassa, tem-se ainda a participação do carvão e gás natural como combustíveis para geração das térmicas. Apesar do crescimento das térmicas na matriz elétrica brasileira, a geração hidráulica ainda apresenta-se majoritária com 36,8 Mtep (Figura 39) de participação na matriz energética e 66,6% de participação na matriz elétrica (EPE, 2019).

A maioria das usinas termelétricas (UTE) são operadas como fonte complementar do balanço de energia de algumas regiões do país, sendo geralmente acionadas quando ocorre baixa geração hidráulica (FGV, 2019). Tolmasquim *et al.* (2016) relata que as UTE no Brasil “oferecem flexibilidade operativa ao Sistema Interligado Nacional (SIN)”. Com as crises hídricas que vem ocorrendo ao longo dos anos, conseqüentemente, redução da geração hidráulica em algumas regiões, o número de UTE tem aumentado consideravelmente, tanto sistemas independentes de geração quanto sistemas provenientes dos serviços públicos. Ambos podem ser ligados ao Sistema Interligado Nacional (SIN).

Importante ratificar que o sistema elétrico brasileiro funciona de forma integrada entre as regiões do país (Norte, Sul, Nordeste e Sudeste/Centro-oeste) através do SIN coordenado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). Logo, toda energia que é ligada à rede funciona de forma integrada em todo território nacional. Isso auxilia no intercâmbio de energia em regiões que apresentarem períodos de déficits.

A Figura 42 expressa a geração de energia elétrica dos Subsistemas do SIN a partir dos dados do ONS para o intervalo de tempo de 2000 – 2019. Observa-se a predominância da geração hidráulica em todo período analisado para todos os subsistemas, com exceção do Nordeste. Em meados de 2012/2013 houve um decaimento da geração hidráulica em função do deplecionamento operacional dos principais reservatórios que sustentam essa região. A principal fonte de suprimento de energia do subsistema Nordeste se encontra localizado na Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (BHSF), com cerca de 92% da potência hidroelétrica instalada, tendo o restante da geração da bacia no subsistema Sudeste/Centro-Oeste (menos de 2% do conjunto desses subsistemas) (CBHSF, 2016). Desde início do período de crise hídrica, a BHSF vem tentando recuperar sua Energia Armazenada (EAR).

Figura 42: Geração de energia elétrica nos Subsistemas por fonte geradora



Fonte: Próprio autor (Base de dados do ONS)

Semelhante à região Nordeste, a região Sudeste apresentou em meados de outubro do ano de 2013 uma das piores secas já registradas, em especial em São Paulo, afetando o abastecimento público e demais usos de água em toda região metropolitana. Estudos apontam como principais causas dessa crise hídrica (CÔRTEZ *et al.*, 2015; MARTIRANI & PERES, 2016; SORIANO *et al.*, 2016): o crescimento populacional; a baixa disponibilidade e má qualidade da água; o aumento no consumo *per capita*; falta de chuvas; mau planejamento estratégico no fornecimento e distribuição de água.

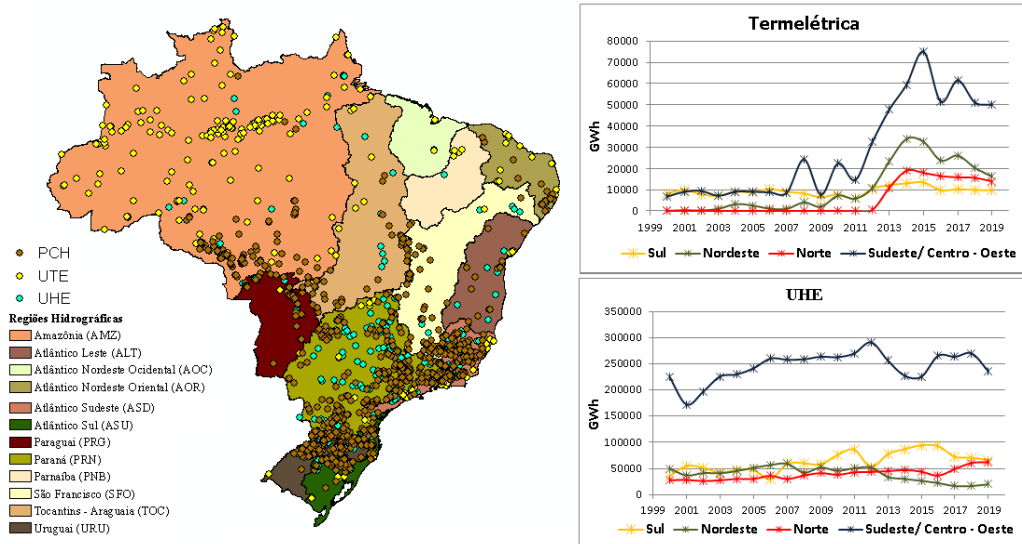
De acordo com o EPE (2018), a política operativa de junho de 2018 foi direcionada para o aproveitamento dos excedentes energéticos da região Norte com elevado intercâmbio dessa região para os subsistemas SE-CO e Nordeste.

De forma geral, considerando a participação da hidráulica na matriz elétrica brasileira, houve uma redução acentuada no ano de 2015, ficando com 64% na estrutura da Oferta Interna de

Energia Elétrica (OIEE), comparada com sua produção no ano de 2014 (65,2%) e 2013 (70,6%), segundo dados do EPE (2017). Já para o ano de 2017, devido às condições hidrológicas desfavoráveis, a participação de energia hidráulica na matriz houve uma redução de 3,4% comparada ao ano de 2016, e a energia eólica alcançou um crescimento de 26,5% (EPE, 2018). Já no ano de 2018, a hidráulica teve uma recuperação de 4,1% com relação ao ano de 2017. No ano de 2019, observa-se uma recuperação dos níveis de alguns reservatórios das regiões Nordeste e SE-CO, aumentando a Energia Armazenada (EAR).

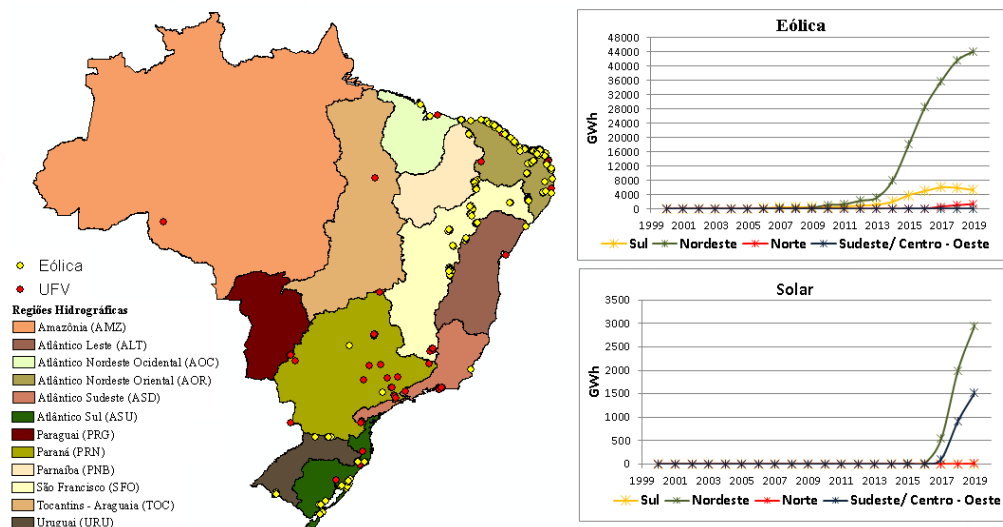
Com o decaimento da geração hidráulica, cresce a geração eólica e térmica para o mesmo período. A geração eólica tem-se destacado em função de sua maior participação na matriz elétrica da região Nordeste, alcançando um pico no ano de 2017 com 35.629 GWh. Quanto a geração térmica, verifica-se um pico de 33.910 GWh no ano de 2014 e um decaimento no ano de 2018. As Figuras 43 e 44 trazem a geração de energia das usinas termelétrica, UHE, eólica e solar distribuídas no território nacional para o período de 2000 – 2019.

Figura 43: Energia termelétrica e UHE distribuídas no Brasil (ano base *shapefile* 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Próprio autor (Base de dados do ONS)

Figura 44: Energia eólica e solar distribuídas no Brasil (ano base *shapefile* 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



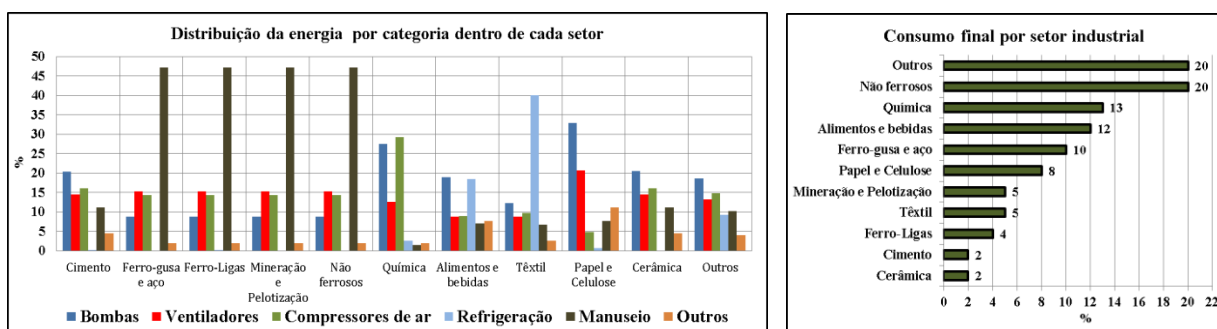
Fonte: Próprio autor (Base de dados do ONS)

Apresentando o balanço geral de energia elétrica no país nas duas regiões que apresentaram maior criticidade de geração hidráulica, tem-se, para a região do nordeste (ano base, 2018): eólica com 4.856,8 MW, hidráulica participou com 1.545,6MW, térmica com 1.990,4 MW, solar com 681,0MW e 635,6 MW de importação, totalizando uma carga de 9.725,6 MW (ONS, 2018). Para o mesmo período, a matriz elétrica da região SE/CO foi dividida da seguinte forma: 25.984,3 MW para hidráulica, térmica com 4.495,4 MW, nuclear com 2.015,6 MW, solar com 409,7 MW e 2.044,1 MW de importação, totalizando uma carga de 34.961,9 MW (ONS, 2018).

Além de apresentar a disponibilidade de energia na matriz brasileira é relatado suas principais demandas, sendo elas, os setores de transporte com 32,7%, seguido pelo de indústria com 31,7% (EPE, 2019). Residências corresponde a 9,9% no uso da energia, agropecuária com 4,1%, setor energético com 11,2%, serviços com 9,1% e serviços não energéticos com 5,5% (EPE, 2019).

O setor industrial, além de ser um potencial usuário de água, representa o segundo segmento de maior consumo de energia. A eletricidade corresponde a 21,3% de consumo deste setor, seguido pelo bagaço de cana, (16,3%), carvão mineral (14,4%) e gás natural (11,4%) (EPE, 2019). A Figura 45 mostra uma estimativa do consumo de energia por diferentes tipologias industriais e sua distribuição por categoria de uso.

Figura 45: Consumo de energia por categoria do processo produtivo e por consumo final em cada setor



Fonte: Próprio autor (Base de dados da EPE, 2007). Bombas - movimentação de líquidos; Ventiladores - movimentação forçada de ar; Compressores de ar - compressão de ar para uso em diversas aplicações; Refrigeração - equipamentos de refrigeração e condicionamento ambiental; Manuseio - equipamentos para transporte e adequação de produto ou material; Processamento - equipamentos que modificam, de alguma forma, o produto ou material processado.

Pode-se perceber que as indústrias dos “Não ferrosos”, química, alimentos/bebida, ferro-gusa/aço e papel e celulose detêm os grupos industriais de maior consumo de energia, segundo dados do EPE (2007). Referente às categorias presente nos processos produtivos, os segmentos ferro-gusa/aço, ferro-ligas, mineração/pelotização e não ferrosos possuem o maior consumo para a categoria de “manuseio” que representa equipamentos para transporte e adequação de produtos. Em termos de refrigeração, os setores que se destacam quanto ao maior consumo de energia são representadas pela indústria têxtil, alimentos e bebidas.

Para os setores autoprodutores de energia elétrica, em 2018, foi estimada um total de 101,2 TWh de geração própria, incluindo os segmentos: agropecuário, siderurgia, não ferroso, papel e celulose, química, petróleo, Sucroalcooleiro, mineração e outros (EPE, 2019). Desses autoprodutores, a agropecuária é a maior consumidora de energia com um equivalente de 29.844 GWh referente ao ano de 2018, seguido pela siderurgia com 25.153 GWh no mesmo ano (EPE, 2019).

4.3.1.3 Agricultura

Neste item, além de considerar a caracterização do setor agrícola, também foi analisado o segmento da pecuária considerando sua grande participação na economia brasileira. A agropecuária corresponde às atividades relacionadas à agricultura e a produção de animais, que fornece alimento e matéria-prima (insumos) para a agroindústria (processamento) e agrosserviços (CEPEA, 2018). Atualmente, representa um dos setores mais dinâmicos da economia do Brasil (AMARAL & GUIMARÃES, 2017).

O setor agrícola brasileiro no início dos anos sessenta era caracterizado pela insuficiência de crescimento da produção, o que gerou problema de abastecimento em algumas regiões; aumento dos preços pagos pelos consumidores, uma vez que “a produção era realizada em áreas cada vez mais distantes dos centros consumidores e havia a falta de uma eficiente infraestrutura de transporte e de abastecimento” (MASSUQUETTI *et al.*, 2010); incapacidade de expansão do mercado externo; e “falta de um nível cultural, por parte dos proprietários e trabalhadores rurais, adequado para a aceitação e a incorporação de técnicas modernas de produção” (MASSUQUETTI *et al.*, 2010).

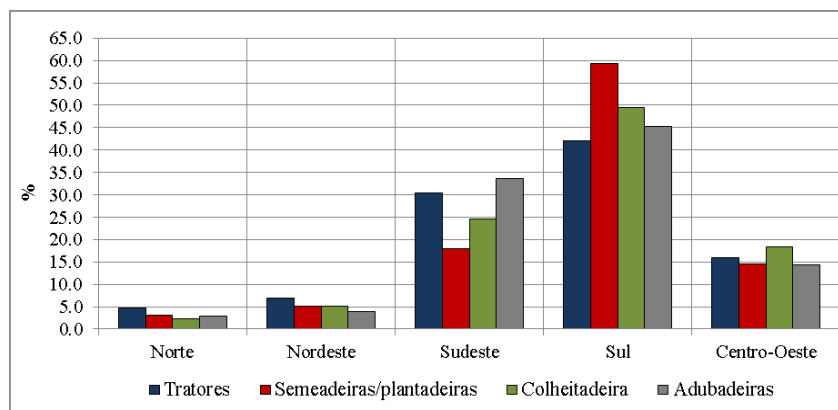
Visando sanar esses problemas, algumas metas de curto e longo prazos foram determinadas no setor agrícola, dentre elas, caracterizam-se a expansão da fronteira agrícola tanto no mercado interno quanto voltado ao mercado externo, à capacitação de trabalhadores rurais, melhoramento de sementes a partir do desenvolvimento das pesquisas, mecanização do setor, e consolidação dos instrumentos da política agrícola, como por exemplo, a política de crédito rural (MASSUQUETTI *et al.*, 2010).

A partir dos anos 70, a agricultura brasileira saiu de um patamar de crise para dinâmico e competitivo, de caráter importador para exportador, tornando o país um dos maiores produtores mundiais de alimentos e fibras (EMBRAPA, 2014b; VIEIRA FILHO, 2016). Os fatores que promoveram esses avanços estão associados às extensas terras, ao clima do país e ao desenvolvimento tecnológico do setor agrícola, destacando à criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (EMBRAPA, 2014b; VIEIRA FILHO & GASQUES, 2016).

Com a expansão da fronteira agropecuária, houve um fomento da infraestrutura logística (ferrovias, rodovias e portos) para escoamento da produção nacional visando o desenvolvimento regional e o aumento da eficiência na distribuição da produção (VIEIRA FILHO, 2016). Por exemplo, segundo Vieira Filho (2016), a melhoria dos portos nas regiões Norte e Nordeste tende a reduzir as pressões nos portos das regiões Sudeste e Sul, possibilitando um aumento nas exportações do agronegócio, uma redução dos custos de produção em função da logística de escoamento, e um ganho de eficiência na produtividade.

De forma geral, pode-se frisar que o desenvolvimento científico-tecnológico, à utilização intensiva de fertilizantes e defensivos agrícolas e a utilização de maquinários, melhorou o desempenho da agricultura ao longo do tempo (PONTES & PADULA, 2005). Na visão de Baricelo & Bacha (2013) a utilização de maquinários na agricultura representa um fator fundamental para o aumento da produtividade. No ano 2000 foi criado o Programa de Modernização da Frota de Tratores Agrícolas e Implementos Associados e Colheitadeiras (Moderfrota), direcionado para o financiamento de aquisição de máquinas a juros subsidiados (BARICELO & BACHA, 2013). A Figura 46 apresenta a relação das máquinas agrícolas utilizadas nas regiões do país, de acordo com os dados do Censo Agro (2017).

Figura 46: Número maquinários existentes nos estabelecimentos agropecuários



Fonte: Próprio autor (Base de dados do Censo Agro 2017)

Observa-se que em termos regionais, tem-se que as regiões sul e sudeste possuem a maior quantidade de utilização de maquinários nos estabelecimentos agrícolas. Ferreira Filho & Felipe (2007) apontam em seus estudos resultados semelhantes para o período analisado (1996 e 2005). Os autores relatam que a região Sul apresentou o maior crescimento médio anual no consumo de tratores de rodas, com 11,5%. Para Baricelo & Bacha (2013), a expansão de maquinários na região sul do país ocorreu especialmente pelo aumento da produção de arroz e trigo na década de 1940, assim como na região Sudeste, especialmente, São Paulo, o aumento de maquinários agrícolas ocorreu principalmente devido ao aumento da plantação de cana-de-açúcar e café.

Com exceção da região sul, o maquinário mais utilizado consta de tratores (1.228.634 unidades no total) para todas as localidades do Brasil. Nas regiões Norte e Nordeste, esse maquinário também é destacado, comparada aos demais maquinários levantados, tendo 4,7% de participação (58.234 unidades no total) e 6,9% (84.191 unidades no total) respectivamente. Na região sul destaca-se a utilização de Semeadeiras/plantadeiras com 59,3% (212.192 unidades no total), no Sudeste destaca-se a utilização de Adubadeiras e/ou distribuidoras de calcário com 33,7% (85.183 unidades no total), e na região Centro-Oeste destaca-se a utilização de Colheitadeiras com 18,4% (31.854 unidades no total).

Além do crescimento de unidades de tratores nos estabelecimentos agrícolas, houve também um aumento no consumo de potência em função, certamente do aumento da área cultivada e do início do programa Moderfrota (FERREIRA FILHO & FELIPE, 2007). Para Silva *et al.* (2017), o governo foi responsável por auxiliar o crescimento agrícola no Brasil, em especial, com a criação em 1965 do Sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), além de ter financiado a adoção de novos maquinários modernos na agricultura.

Quanto à produção agropecuária por região, têm-se as regiões sul e sudeste com as maiores produções agrícolas (considerando os cultivos de soja, milho, cana-de-açúcar, café e algodão) e atividade da pecuária (considerando bovino, suíno e frango) tendo como referência o ano de 1990 (Quadro 16). Para o ano de 2013, houve um crescimento da agricultura nas regiões Nordeste e Centro-Oeste e um decaimento nas regiões Sudeste, Norte e sul, destacando essa última região pelo maior valor de redução do setor. Pode-se perceber também uma alteração da região produtora de algodão, que saiu a concentração das regiões Sudeste e Sul para as regiões Nordeste e Centro-Oeste entre os anos de 1990 e 2013.

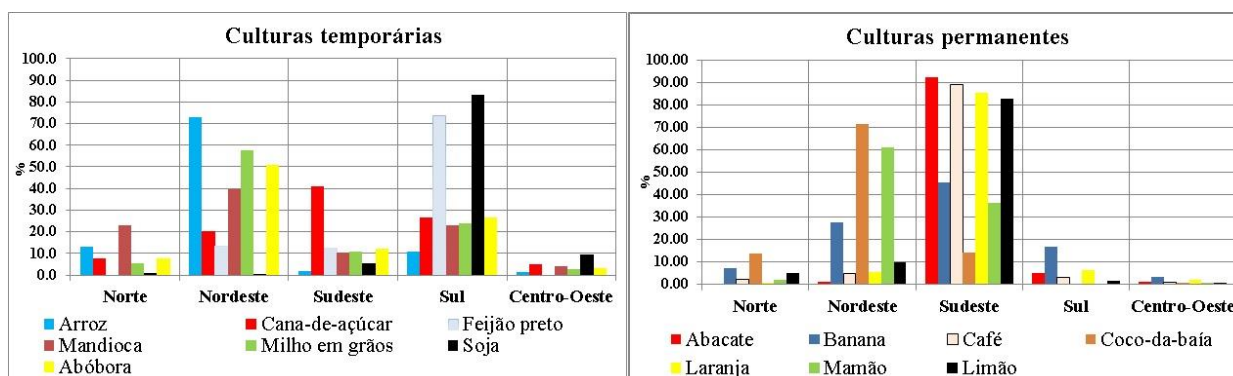
Quadro 16: Produção agropecuária para atividades selecionadas (1990 e 2013) – Porcentagem relativa à produção em toneladas

Região	Nordeste		Sudeste		Norte		Sul		Centro-Oeste	
Produto	1990	2013	1990	2013	1990	2013	1990	2013	1990	2013
Soja	1,1	6,4	8,5	6,4	0,2	3,3	57,8	37,1	32,4	46,8
Milho	3	6	24,6	14,9	2,5	2	55,2	32,5	14,6	44,7
Cana	27,3	8,9	61,8	67	0,3	0,5	5,2	6,5	5,4	17,1
Café	4,3	5,4	73,4	87,5	7,8	2,7	10,7	3,4	3,7	1
Algodão	8,5	30,4	32,2	3,4	0,8	0,4	47,8	0	10,7	65,7
Total	44,2	57,1	200,5	179,2	11,6	8,9	176,7	79,5	66,8	175,3
Bovino	17,8	13,7	24,7	18,6	9,1	21,11	17,2	13	31,2	33,6
Suíno	28,8	15,1	18,1	18,8	11,2	3,4	31,6	48,8	10,3	13,9
Franco	22,6	18,6	34,4	65,8	5,8	4,3	29,3	28,5	8,1	12,7
Total	69,2	47,4	77,2	103,2	26,1	28,81	78,1	90,3	49,6	60,2

Fonte: Adaptado de Garcia & Vieira Filho (2014)

A relação de culturas temporárias e permanentes pode ser visualizada na Figura 47 com base nos dados do Censo Agro 2017. A região sul se destaca na produção de culturas temporárias (em especial, soja e feijão preto) e possui uma baixa aquisição de culturas permanentes. O inverso se aplica para a região sudeste com destaque para as produções permanentes de abacate, café, laranja e limão.

Figura 47: Principais culturas, temporárias e permanentes, produzidas no Brasil

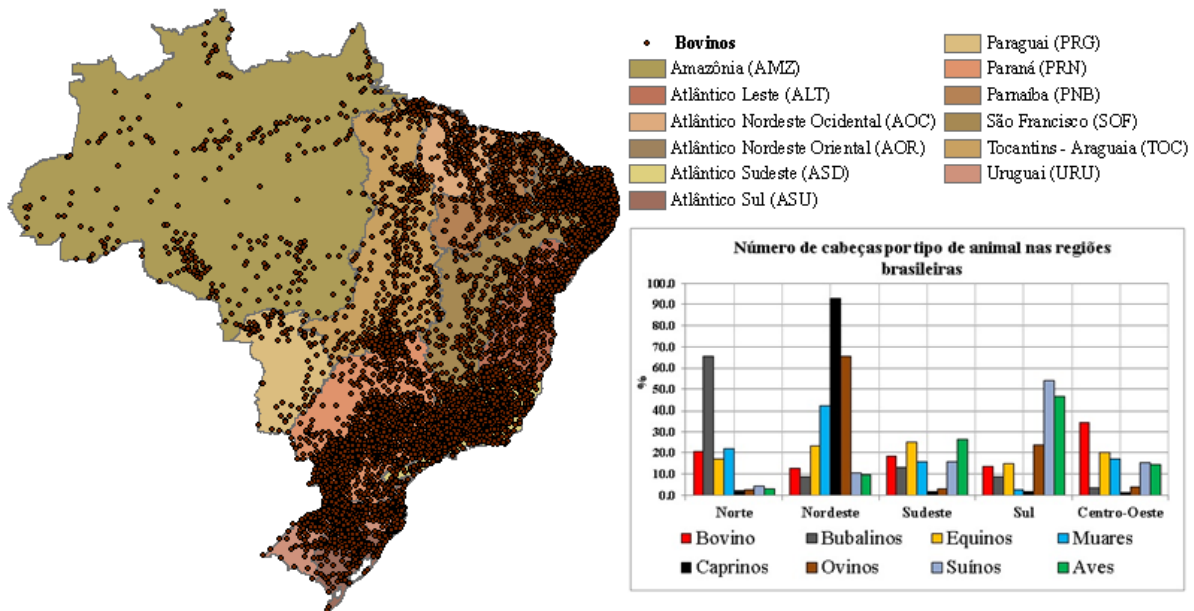


Fonte: Próprio autor (Base de dados do Censo Agro 2017)

A maior produtora de soja desde 1990 concentra-se nas regiões Centro-Oeste e Sul (Quadro 16, Figura 47). Para produção de cana-de-açúcar houve uma dinâmica na produção ao longo dos anos (1990 – 2017), tendo maior participação das regiões Sudeste e Sul considerando os dados do Censo Agro 2017. Para o IBGE (2017), a cana-de-açúcar tem se expandido no país, sendo o terceiro maior cultivo em área plantada, perdendo apenas para soja e milho.

Quanto a atividade de pecuária, observa-se no Quadro 16 e Figura 48 uma grande expansão de sua atividade no território nacional, especialmente, rebanho bovino. O Nordeste é primordial na criação de caprinos com 92,8% seguido de ovinos com 65,6% comparado a média de todo país. No que tange a criação de bovinos, a participação do Centro-Oeste recebe destaque com 34,7% seguida pela região Norte com 20,7%.

Figura 48: Produção de bovinos no Brasil e número de cabeças por tipo de animal nas regiões brasileiras (ano base shapefile 2018, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



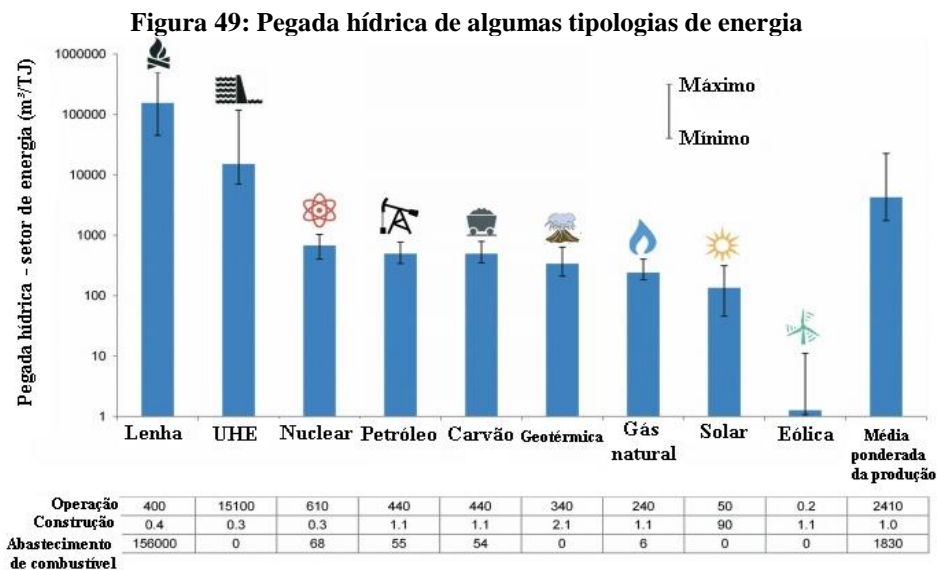
Fonte: Próprio autor (Base de dados do IBGE, 2017 e Censo Agropecuário, 2017)

4.3.2 Inter-relações e interdependências entre Água – Energia – Agricultura irrigada no Brasil

A partir do conhecimento dos setores de recursos hídricos, energia e agropecuária, atuantes no Brasil, esta seção tende a expor as principais inter-relações existentes entre eles quanto aos aspectos de consumo, fonte de recursos e prováveis impactos.

4.3.2.1 Água para energia

As discussões relacionadas ao consumo de água no setor energético ficaram reconhecidas internacionalmente após avanços do contexto nexus água-energia (SEMERTZIDIS *et al.*, 2018). Todas as formas de produção de energia requerem alguma entrada de água (WALKER *et al.*, 2014; IEA, 2016; SANDERS & MASRI, 2016). A Figura 49 ilustra a pegada hídrica de algumas tipologias de energia no contexto global.



Fonte: Traduzido de Mekonnen *et al.* (2015)

Em média, 90% do consumo de água estão associadas à geração de energia, 10% para produção de calor e menos de 0,02% para etapa de construção (MEKONNEN *et al.*, 2015). Conforme apresentado por Chang *et al.* (2016) (Capítulo 2) e Mekonnen *et al.* (2015), a energia eólica é a tipologia que menos consome água, com aproximadamente 1,3 m³/TJ (Figura 49). Diferentemente, a lenha (por unidade de eletricidade e calor produzido) e a geração hidráulica são as tipologias de maior pegada hídrica, segundo Mekonnen *et al.* (2015). Os países que mais contribuem para a pegada hídrica da lenha são a Índia e China, cerca de 85 e 83%, respectivamente (MEKONNEN *et al.*, 2015). Enquanto que para energia hidráulica, a África (pegada hídrica média de 22.800 m³/TJ) e a América Latina (pegada hídrica média de 11.200 m³/TJ) possuem as maiores contribuições dentre as regiões do mundo (MEKONNEN *et al.*, 2015).

As análises das relações entre água-energia foram realizadas, nesta seção, para três tipologias de geração de energia: termelétrica, petróleo e hidrelétrica. Esses tipos de energias foram selecionados com base em dois fatores: maior participação na matriz energética brasileira; e com base nos dados globais de pegada hídrica apresentados por Chang *et al.* (2016) e Mekonnen *et al.* (2015). As etapas de construção de energia, conforme visto, possuem as menores demandas de água, logo, não serão abordadas, assim como no caso da energia eólica, apesar de sua crescente participação na matriz do país, seu consumo de água é significativamente baixo.

4.3.2.1.1 Termelétrica (UTE)

As usinas termelétricas devem representar um dos principais focos nas relações entre água-energia devido suas dependências com os recursos hídricos no processo de resfriamento (PAN *et al.*, 2018). As principais variáveis que devem ser abordadas nesta relação são: tipo de combustível e ciclo termodinâmico; sistema de resfriamento; disponibilidade hídrica das fontes de captação; consumo de água; perdas no sistema e impactos nos ecossistemas.

No Brasil, informações sobre alguns dos pontos mencionados não estão disponíveis. Existem trabalhos técnicos - científico que apresentam essas informações para um conjunto de termelétricas presentes no país. Dentre eles, ressaltam-se os estudos desenvolvidos pelo Instituto de Meio Ambiente e Energia - IEMA (2016) e por Guimarães Francisco (2018). O IEMA (2016) utilizou em seu estudo 70 UTEs geradoras com potência superior a 100 MW operando com combustíveis fósseis. Enquanto Guimarães Francisco (2018) analisou 56 centrais termelétricas ligadas ao SIN em operação, com construção iniciada e ainda não iniciada, ambos utilizando como combustíveis, carvão mineral, gás natural com ciclo combinado e urânio. Muitas UTEs estão contempladas em ambos os trabalhos.

Além dos estudos mencionados, foram utilizados ainda como suporte para desenvolvimento desta seção a publicação de Arroyo (2018), que analisou impactos do setor de recursos hídricos na expansão do planejamento energético, e as bases de dados do Banco de Geração de Informação (BIG) coordenado pela ANEEL, o banco de dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico brasileiro (ONS), além de *websites* de algumas usinas em análise.

A Tabela 20 traz a relação de dezessete (17) usinas térmicas presentes nas bases de dados apontadas. Essas usinas foram selecionadas em função da maior quantidade de informações disponíveis para efetuar as análises dos *interlinks* entre água-energia frente aos itens levantados. Para cada central térmica, foram apresentados informações referentes: a região e Estado (UF) de instalação da usina; ao ano inicial de operação e sua situação quanto ao funcionamento (ativa ou inativa); ao tipo de combustível utilizado; capacidade instalada (MW); potência (turbina a vapor) (MW); sistema de resfriamento; fonte hídrica; captação (m³/h)/MW; perdas (m³/h)/MW e situação hídrica local.

Tabela 20: Usos da água e suas perdas para algumas termelétricas instaladas nas regiões geográficas do Brasil

Região	Nome da Usina	Situação	Ano início OP	UF	Combustível	Capacidade Instalada (MW)	Potência (Turbina a vapor) (MW)	Sistema de resfriamento	Fonte hídrica	Captação (m³/h)/MW	Perdas (m³/h)/MW	Situação hídrica da região
Nordeste	Termopernambuco	AT	2004	PE	Gás natural	532,76	212	Sistema aberto	Água salina	130,7	1,00	Muito crítica
	Porto do Pecém I (Antiga MPX)	AT	2012	CE	Carvão Mineral	720,27	720	Torre úmida mecânica	Água doce	2,85	2,5	Muito crítica
	Porto do Pecém II	AT	2013	CE	Carvão Mineral	365,00	365	Torre úmida mecânica	Água doce	2,85	2,5	Crítica
	Fortaleza	AT	2003	CE	Gás Natural	346,63	113	Torre úmida mecânica	Água doce	2,8	2,14	Muito crítica
	Celso Furtado (Antiga Termobahia Fase I)	AT	2004	BA	Gás Natural	185,89	30	Torre úmida mecânica	Água doce	5,6	4,3	Muito crítica
	Rômulo Almeida Unidade I	AT	2003	BA	Gás Natural	138,02	56	Torre úmida mecânica	Água doce	2,22	1,73	Muito crítica
Norte/Centro-Oeste	Porto do Itaquí	AT	2013	MA	Carvão Mineral	360,14	360	Torre úmida mecânica	Água salina	2,85	2,5	Muito crítica
	Cuiabá (Antiga Mário Covas)	INT	2001	MT	Gás Natural	529,20	160	Torre úmida mecânica	Água doce	2,97	2,3	Excelente
	Luiz Carlos Prestes (Antiga Três Lagoas)	INT	2004	MS	Gás Natural	385,82	126	Torre úmida mecânica	Água doce	2,7	2,14	Muito crítica
Sul	Jorge Lacerda III	AT	1979	SC	Carvão Mineral	262,00	262	Sistema aberto	Água doce	130	1,5	Excelente
	Jorge Lacerda I e II	AT	1965	SC	Carvão Mineral	232,00	232	Sistema aberto	Água doce	130	1,5	Excelente
	Jorge Lacerda IV	AT	1997	SC	Carvão Mineral	363,00	363	Torre úmida mecânica	Água doce	2,85	2,5	Muito crítica
	Candiota III	AT	2011	RS	Carvão Mineral	350,00	350,00	Torre úmida mecânica	Água doce	2,85	2,5	Muito crítica
	Uruguaiana	INT	2000	RS	Gás Natural	639,90	265	Torre úmida mecânica	Água doce	2,2	1,7	Muito crítica
Sudeste	Santa Cruz	AT	1967	RJ	Gás Natural	1000,00	163	Sistema aberto	Água salobra	319,0	2,5	Muito crítica
	Norte Fluminense	AT	2004	RJ	Gás Natural	826,78	304	Torre úmida mecânica	Água doce	2,4	1,9	Confortável
	Governador Leonel Brizola	AT	2004	RJ	Gás Natural	1058,30	179	Torre úmida mecânica	Água doce	5,3	4,13	Excelente

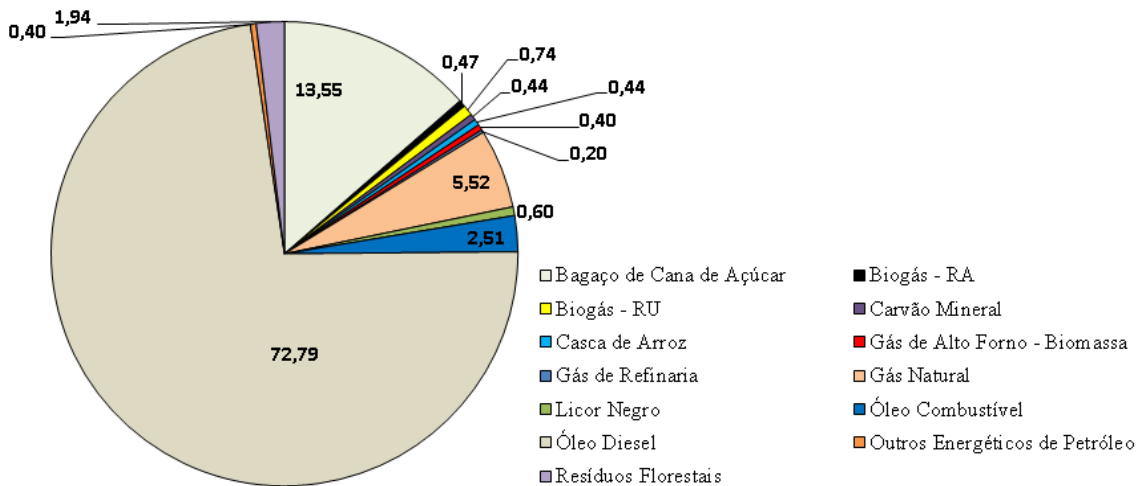
Fonte: Próprio autor (com base nos dados apresentados pelo IEMA, 2016; e Guimarães Francisco, 2018). OP – Operação. AT – Ativa. INT – Inativa.

Tipo de combustível

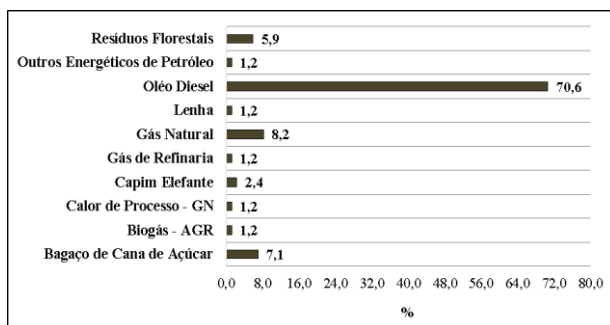
O tipo de combustível utilizado na usina tem associação direta com os ciclos termodinâmicos de sistemas de geração de potência (TOLMASQUIM *et al.*, 2016). Por exemplo, o combustível utilizado no ciclo *Brayton* é o gás natural, enquanto no ciclo *Rankine* podem ser utilizados carvão mineral, derivados do petróleo, biomassa, solar, geotérmica e urânio (IEMA, 2016). Combustíveis que possuem maior poder calorífico consomem uma maior quantidade de água no condensador, logo, as usinas nucleares representam as centrais térmicas de maior captação de água em comparação com as UTEs movidas à combustíveis fósseis e biocombustíveis (GUIMARÃES FRANCISCO, 2018).

Segundo o IEMA (2016), o ciclo *Rankine* é o mais utilizado no mundo, inclusive no Brasil. Todas as UTEs apresentadas na Tabela 20 possuem ciclo combinado. A Figura 50 apresenta a porcentagem de participação dos combustíveis nas UTE em operação (iniciaram a operação na primeira unidade geradora), com construção iniciada (usinas com obras iniciadas após licença ambiental de instalação) e com construção não iniciada (usinas que não iniciaram suas obras), segundo os dados do BIG. O total de UTE em operação é de 3.032 unidades, com construção iniciada corresponde a 85 unidades, e com construção ainda não iniciada, 46 unidades (dados levantados no BIG em janeiro de 2020).

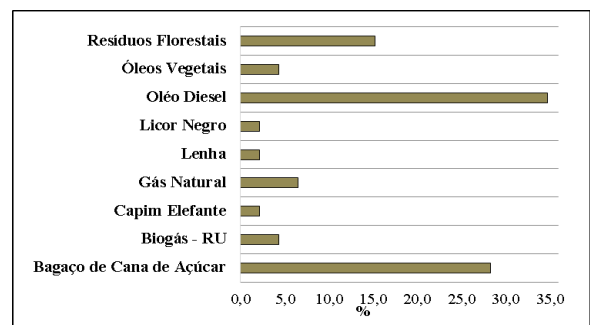
Figura 50: Porcentagem da participação dos combustíveis utilizados nas UTEs presentes no Brasil



(a)



(b)



(c)

Fonte: Próprio autor (Base de dados da BIG, ano de referência, 2020). (a) UTE em operação. (b) UTE em construção. (c) UTE com construção não iniciada

Observa-se que para as três categorias, o petróleo é o combustível mais utilizado no segmento das termelétricas, especialmente, óleo diesel com 2.175 unidades em operação (72,79%), seguida pela biomassa (bagaço de cana de açúcar) com 405 centrais em operação (13,55%). A

tendência na participação desses combustíveis segue para as usinas em construção e planejada, no entanto, com um aumento da participação de gás natural e resíduos florestais. Gás natural está presente em 5,52% das UTEs em operação do país, e 8,2% das UTEs em construção. A logística de transporte e a disponibilidade representam um dos principais fatores que influenciam a alta participação de petróleo e seus derivados nas UTE.

Para a FGV (2018), termelétricas a diesel e óleo combustível são apropriadas tanto para atendimento de altas demandas quanto demandas isoladas, enquanto UTEs movidas à carvão ou nuclear são ideais para fornecimento mais contínuo no sistema, e UTE à gás natural, por sua vez, apresentam versatilidade a depender da tecnologia de potência (ciclo aberto ou combinado). O Quadro 17 discorre algumas características das UTEs em função do tipo de combustível utilizado.

Quadro 17: Características das termelétricas em função do tipo de combustível

Fonte	Custo de implantação	Custo variável	Emissões de GEEs	Características
Carvão	Baixo	Baixo	Muito alto	Acionamento lento; baixa capacidade de variação e dificuldade de transporte do combustível.
Diesel	Baixo	Muito alto	Alto	Acionamento rápido; alta capacidade de variação e facilidade de transporte e armazenamento do combustível.
Gás/GNL	Depende da infraestrutura existente e da concepção do projeto	Depende da concepção do projeto	Médio	Versátil; depende da infraestrutura para acesso ao combustível.
Nuclear	Muito alto	Muito baixo	Muito baixo	Acionamento lento; baixa capacidade de variação e restrições de segurança ambiental.
Óleo combustível	Baixo	Alto	Muito alto	Acionamento médio; média capacidade de variação e facilidade de transporte e armazenamento do combustível.

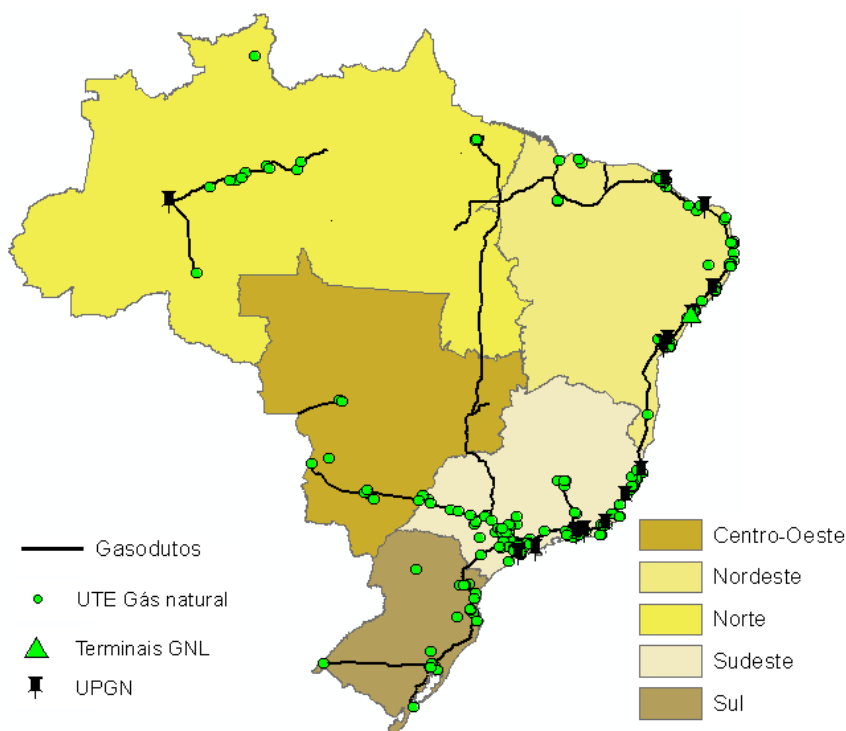
Fonte: Adaptado da FGV (2018)

Apesar da versatilidade presente nas UTEs à gás natural, elas apresentam algumas restrições espaciais no Brasil devido à infraestrutura para acesso ao combustível. Para Tolmasquim *et al.* (2016) em função do gás natural necessitar de gasodutos para escoamento da produção é recomendável a instalação de usinas térmicas próximas ao poço de extração sempre que possível, viabilizando economicamente suas operações.

A Figura 51 ilustra a localização das UTEs em operação instaladas no Brasil e a localização dos principais terminais de Gás Natural Liquefeito (GNL), Unidade de Processamento de Gás Natural (UPGN) e gasodutos para transporte. Observa-se a proximidade das UTEs às UPGN e aos terminais de GNL, sendo ligados pelos gasodutos.

O Brasil possui 14 UPGNs com cerca de 94,4 milhões de metros cúbicos por dia de capacidade total, “três terminais de regaseificação de GNL (Pecém/CE, Baía de Todos os Santos/BA e Baía de Guanabara/RJ, somando 41 milhões de metros cúbicos por dia de capacidade)” (TOLMASQUIM *et al.*, 2016), uma extensão de aproximadamente 9.400 km de gasodutos de transporte (TOLMASQUIM *et al.*, 2016), e possui grande prospecção de novos projetos termelétricas associadas aos terminais de GNL (EPE, 2018).

Figura 51: Localização das principais UTEs movidas à gás natural e localização de sua infraestrutura para transporte do gás (ano base *shapefile* 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Próprio autor (Base de dados SIGEL/ANEEL e WEB MAP EPE)

Além da logística do gás natural, outro critério importante que não tem sido considerado nos projetos das térmicas refere-se ao consumo de água na produção dos combustíveis utilizados nessas usinas. Ou seja, a biomassa, derivados do petróleo, carvão, urânio e gás natural também consomem água em suas etapas de extração, processamento e geração, conforme visto no Capítulo 3 (revisão bibliográfica). O montante de água que é utilizada por esses combustíveis é contabilizado como água virtual e deve compor o balanço das UTEs.

Sistema de resfriamento e consumo de água

Para o IEMA (2016), a identificação dos sistema de resfriamento das UTEs foi baseada em imagens de satélite, *websites* das usinas pesquisadas, e Estudos de Impacto Ambiental (EIA) das usinas. Enquanto Guimarães Francisco (2018), utilizou o EIA ou RIMA (quando disponíveis) das usinas, o *Google Earth* e portais de notícias para realizar este levantamento. Ambos os estudos apontaram dificuldades em encontrar informações relacionadas a essa variável.

Em suas análises, o IEMA (2016) apontou que praticamente todas as usinas termelétricas desenvolvidas no Brasil utilizam sistemas de resfriamento por torres úmidas em circulação forçada (IEMA, 2016). Resultados semelhantes foram encontrados por Guimarães Francisco (2018), das UTEs analisadas, o sistema de resfriamento mais utilizado foi torre úmida mecânica com 60,7%, seguido por sistema aberto (16,1%). Sistema de resfriamento por torre seca foi encontrada apenas em 3,6% das unidades em estudo.

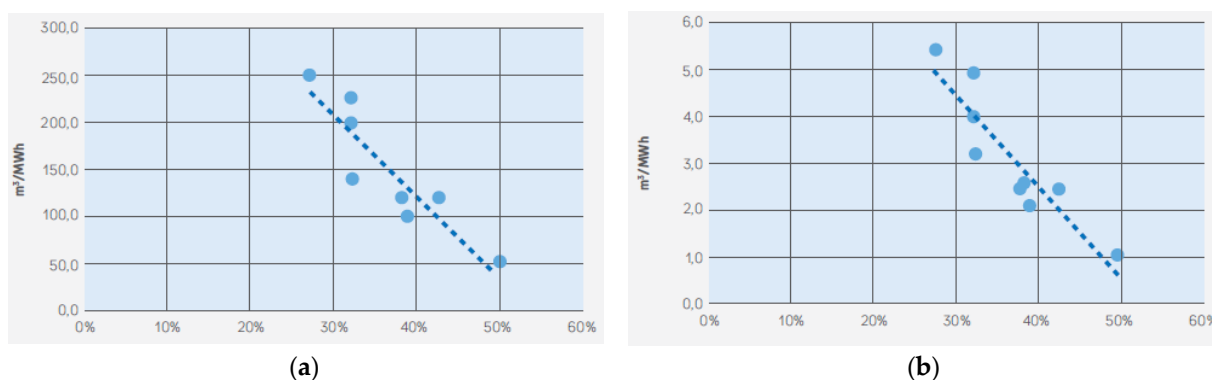
Sistema aberto é característico por possuir grandes captações de água e baixo consumo. Na Tabela 20, a UTE Termopernambuco (130,7 m³/h/MW), UTE Santa Cruz (319 m³/h/MW), UTE Jorge Lacerda I e II (130 m³/h/MW) e UTE Jorge Lacerda III (130 m³/h/MW) utilizam esse tipo de sistema. No entanto, dessas usinas, Termopernambuco e Santa Cruz, apesar de apresentarem a maior captação de água das usinas levantadas, utilizam fonte de água salina e

salobra respectivamente, em seus processos. A UTE Fortaleza, no ano de 2014, consumiu uma média de 3.018.875 m³ de água (GUIMARÃES FRANCISCO, 2018).

Essas relações do consumo de água em UTE possui intensa associação com o ciclo termodinâmico (potência) utilizado nessas usinas. Quanto maior a eficiência de uma usina, menor é a quantidade de calor rejeitada no condensador, o que resulta em um menor consumo de água nos sistemas de resfriamento (IEMA, 2016). Segundo Pan *et al.* (2018), turbinas à gás de ciclo combinado possuem um consumo de água relativamente mais baixos dentre as tecnologias do gerador.

No estudo do IEMA (2016), as estimativas do consumo de água foi conduzido com base nos gráficos apresentados na Figura 52, que conecta demanda específica de água por MWh (eixo y do gráfico) com eficiência da usina (eixo x do gráfico). Enquanto que Guimarães Francisco (2018) utilizou o balanço de massa e de energia para realizar as estimativas.

Figura 52: Demanda específica de água (m³/MWh) em usinas termelétricas

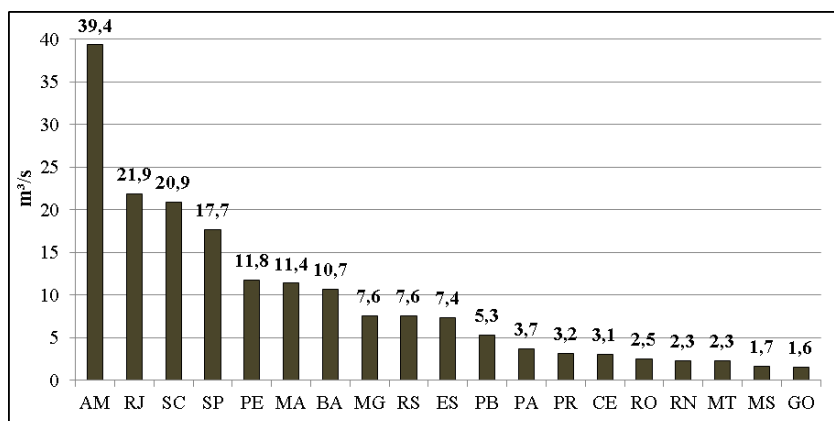


Fonte: IEMA (2016). (a) circulação aberta de água; (b) torres úmidas.

A ANA (2017a) estimou em aproximadamente 216 m³/s (ano de referência, 2016) a vazão de retirada de corpos d'água para atender a demanda de termelétricas, destacando os Estados do Amazonas, Rio de Janeiro, São Paulo e Santa Catarina que apresentaram os valores mais expressivos e os Estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Rio Grande do Norte e Roraima com os valores menos expressivos (Figura 53). Outros Estados que não estão apontados na Figura 53 não possuem usinas desse segmento implementadas.

Nos dados analisados presentes no cadastro de outorga da ANA (Tabela 18), as regiões hidrográficas de maior captação de água para atender ao uso em termelétricas são Tocantins (8,1 m³/s), Atlântico Sul (5,7 m³/s), Paraguai (5,4 m³/s) e Amazônica (2,2 m³/s).

Figura 53: Vazão de retirada para resfriamento das termelétricas



Fonte: Próprio autor (Base de dados ANA, 2017)

O Quadro 18 ilustra um resumo de algumas características dos sistemas de resfriamento. Como pode ser observado, o sistema de resfriamento seco possui um baixo impacto na captação de água em função da utilização do ar no lugar da água. No entanto, esse tipo de sistema possui um custo maior e uma eficiência menor comparado aos sistemas de resfriamento úmido. Maulbetsch & Difilippo (2006) analisando UTE de 500 MW, funcionando com ciclo combinado à gas natural na Califórnia, relatam que a utilização de sistema de resfriamento torre seca, em comparação com torre úmida, aumentou o custo de capital da planta em cerca de 5 à 15% e reduziu o potencial de geração de energia durante um ano entre 1% a 2% (13.000 a 56.000 MWh).

Para Pan *et al.* (2018), a retirada total de água e o consumo em um sistema de resfriamento seco é de apenas 0,02 – 0,60 m³/MWh, enquanto o consumo e a captação média utilizando sistema de resfriamento úmido é de aproximadamente 0,5 - 2,6 e 1 - 132 m³/MWh, respectivamente, a depender do porte do empreendimento. Sistemas híbridos apresentaram um dos menores valores de captação de água dentre as tecnologias de resfriamento analisadas (PAN *et al.*, 2018).

Na visão de Turnpenny *et al.* (2010), a justificativa para maior utilização de água em UTE é sua eficácia no sistema de resfriamento comparada ao ar. Os autores apontam que a água tem uma alta capacidade térmica específica sendo capaz de absorver grandes quantidades de calor com pouco aumento na temperatura, enquanto a capacidade térmica do ar (1,0035 J/kg) é um quarto menor que o da água (4.186 J/kg) (TURNPENNY *et al.*, 2010).

No Brasil, sistema de resfriamento seco pode ser encontrado nas UTEs Presidente Médici A e B movidas à carvão mineral, instaladas na região sul do país em 1974. Porém, a ANEEL (2018) solicitou a extinção da concessão de outorga dessas usinas em função da degradação dos equipamentos presentes na estrutura o que acarreta na baixa eficiência de geração.

Quadro 18: Resumo de algumas características relacionadas aos sistemas de resfriamento

Sistema de resfriamento		Captação de água	Consumo de água	Custos iniciais	Redução na eficiência térmica	Impacto na captação de água
Sistema aberto		Alto	Baixo	Baixo	-	Alto
Sistema fechado	Torres de resfriamento úmida natural	Moderado a baixo	Moderado	Alto	0,5% a 1,5%	Moderado
	Torres de resfriamento úmida mecânica	Moderado a baixo	Moderado	Moderado	~ 2%	Moderado
	Sistema seco direto	Nenhum	Nenhum	Muito alto	1,5% a 2%	Baixo
	Sistema seco indireto	Nenhum	Nenhum	Muito alto	2% a 3%	Baixo

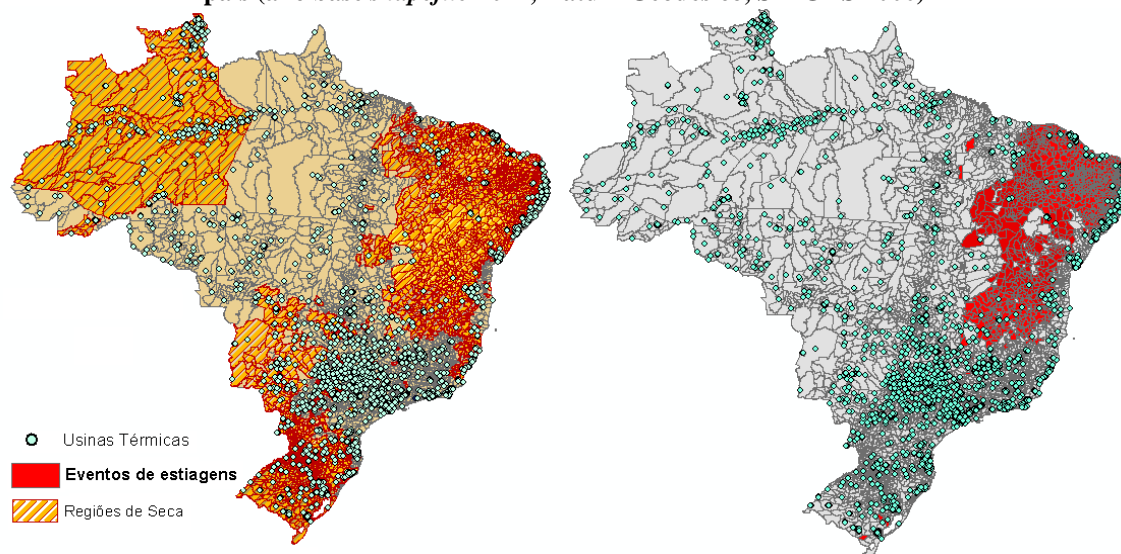
Fonte: Adaptado de IEAGHG (2011); TURNPENNY *et al.* (2010) citado por Guimarães Francisco (2018)

Tipo de fonte de água e situação hídrica da região

As fontes de água para UTEs incluem: (a) água superficial (doce, salobra e salina); (b) água subterrânea; (c) água de reuso; e (d) água potável tratada (PAN *et al.*, 2018). Vários fatores locais influenciam na determinação do tipo de fonte de água que deverá ser utilizado em uma usina térmica. Dentre eles, Harto *et al.* (2014) colocam como fatores determinantes, os critérios econômicos e análise da disponibilidade do recurso.

A Figura 54 ilustra as regiões com menor disponibilidade hídrica do Brasil, especificamente regiões de seca e seus principais pontos de estiagem segundo as bases de dados da ANA. Os Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Piauí, Pernambuco, Sergipe, São Paulo, Rio Grande do Norte e Rio Grande do sul são as principais regiões que se enquadram nessas características. Como pode-se averiguar, existe uma grande quantidade de usinas que estão instaladas nessas localidades.

Figura 54: Localização das UTE em operação no Brasil com destaque para as áreas secas e de estiagem do país (ano base *shapefile* 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Próprio autor (Base de dados Portal de Metadados/ANA)

A análise da disponibilidade hídrica na região de implantação de termelétricas foi realizada no Brasil pelo IEMA (2016) e Guimarães Francisco (2018), ambos utilizando a mesma metodologia da ANA (2017a). A ANA (2017a) classifica as regiões do Brasil em seis faixas: excelente (menores que 5% de escassez), confortável (entre 5% e 10% de escassez), preocupante (entre 10% e 20% de escassez), crítica (entre 20% e 40% de escassez) e situação muito crítica (maior que 40% de escassez).

Do conjunto de 39 termelétricas que utilizaram água doce no sistema de resfriamento, estudadas por Guimarães Francisco (2018), 30,8% se encontram em regiões com situação muito crítica, 25,6% se encontram em regiões com situação excelente, 20,5% em situação preocupante, 15,4% em situação crítica e 7,7% em situação confortável, sendo a maior parte dessas usinas instaladas na região Sul e Sudeste do país.

Das usinas apresentadas na Tabela 20 (página 157), a maioria está presente em regiões classificadas em situação muito crítica. Fazendo a associação com as fontes de água, observa-se que apenas duas usinas utilizam água salina (UTE Termopernambuco e Porto do Itaquí) como insumo de entrada e apenas uma utiliza água salobra (UTE Santa Cruz) proveniente de fonte subterrânea. Todas as demais usinas utilizam em seus processos água doce.

Guimarães Francisco (2018) em seu estudo apontam que das 56 centrais térmicas analisadas, 73,2% consomem água doce e 17,9% consomem água salina. Nos Estados Unidos, em uma pesquisa feita em 2014, os resultados foram semelhantes, 76% das UTEs pesquisadas consomem água doce e 7% consomem água salina (HARTO *et al.*, 2014). Apesar do alto consumo de água doce nesses sistemas, Harto *et al.* (2014) descrevem que há uma tendência de aumentar, de forma crescente, o uso de fonte de água não convencional em sistemas termelétricos que ainda serão implementados devido à grande pressão nos recursos hídricos.

Existem especialmente quatro fatores que diferenciam a utilização de água doce e salina em tecnologias de resfriamento (HARTO *et al.*, 2014): presença de minerais dissolvidos (a presença de sais reduz a pressão de vapor da água, o que resulta em uma menor eficiência na transferência térmica); materiais de construção que no caso de água salina são necessários materiais resistentes à corrosão (como por exemplo, bronze e titânio); o número de ciclos de concentração que refere-se à relação entre concentração da água em circulação com a concentração da água de reposição (GUIMARÃES FRANCISCO, 2018) (quanto maior a

concentração de sólidos totais na água de alimentação, menor o número de ciclos de concentração que pode ser alcançada); e o tratamento da água necessário (deve-se considerar neste aspecto o consumo de energia necessário nas diferentes tecnologias de tratamento da água salina para remoção de sais e outros minerais presentes).

Não foi identificada, nos estudos levantados, a tecnologia de tratamento de água utilizado pelas usinas apresentadas na Tabela 20. No contexto geral, as principais tecnologias utilizadas no tratamento de água para sistemas de resfriamento em UTE podem ser encontrados nos estudos de Pan *et al.* (2018).

Impactos

Os impactos gerados em uma usina térmica são de natureza sólida, líquida e gasosa. Para Medeiros (2003), os impactos mais significativos em UTE ocorrem na fase de operação que geram emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos sólidos.

Os estudos do IEMA (2016) e Guimarães Francisco (2018) não contemplaram impactos das UTEs pesquisadas com relação às emissões atmosféricas, resíduos sólidos e efluentes líquidos. Até o momento, não foi identificado no Brasil um estudo que apresente a relação desses impactos para um conjunto de termelétricas instaladas no território nacional. Os estudos que existem são pontuais para UTEs específicas, sendo a maior parte deles focados nas emissões atmosféricas de âmbito local, regional e global.

Alguns desses impactos podem ser verificados nos Estudos de Impacto Ambiental (EIA) realizados para usinas térmicas. Porém, para o caso de emissões gasosas, Medeiros (2003) chama a atenção que existe uma preocupação na utilização dos resultados descritos no EIA pelo fato deles considerarem avaliações isoladas do empreendimento, adotando valores de referência normatizadas que não representam muitas vezes a realidade acumulativa dos gases já presentes no local e emitidos pela usina.

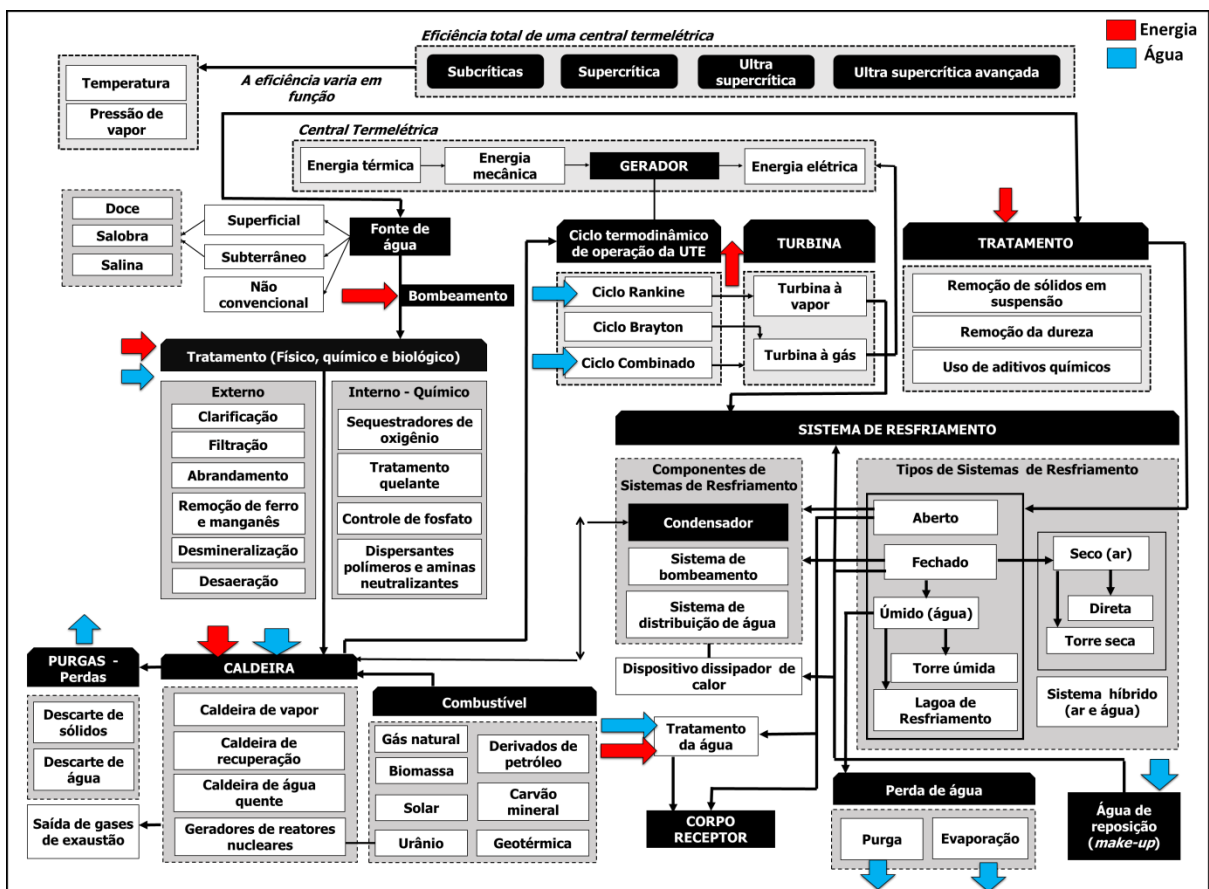
Ademais, é importante considerar as relações entre mudanças climáticas e seus impactos na geração de energia térmica. Aumentos nas temperaturas do ar e da água ambiente tendem a reduzir a eficiência de centrais térmicas (USDOE, 2013). Por exemplo, para o caso de UTEs movidas à turbinas a combustão por gás natural tem sido estimado uma redução de eficiência de aproximadamente 0,6% à 0,7% para um aumento de 1 ° C na temperatura do ar, e usinas de ciclo combinado movidas a resfriamento por torre seca, pode alcançar perdas na eficiência de aproximadamente 0,7% para o mesmo aumento da temperatura do ar (USDOE, 2013).

As relações apontadas não foram identificadas para o conjunto de termelétricas instaladas no Brasil. Estudos isolados e análises mais gerais abordando impactos das mudanças climáticas no setor de energia, podem ser encontrados no trabalho da EPE (2018) que traz, dentre outras coisas, alguns indicativos de melhores arranjos de usinas para redução de emissões. Por exemplo, UTE movida à gás natural é uma das melhores alternativas para expansão deste tipo de energia, principalmente pelo crescimento do mercado de gás natural no Brasil e pelas baixas emissões comparadas à UTE movidas à óleo combustível e carvão (EPE, 2018), como comentado no Quadro 17. Segundo a empresa, novas plantas movidas a carvão apesar de estarem sendo barradas por dificuldades ambientais, a longo prazo, novas usinas com esse combustível possam vim a expandir no país, porém, com adoção de inovações tecnológicas voltadas para redução dos GEE, podendo citar as tecnologias: combustão em leito fluidizado “Fluidized Bed Combustion” (FBC), ciclo combinado com gaseificação integrada “Integrated Gasification Combined Cycle” (IGCC), e os ciclos supercríticos “Supercritical Cycle” (SC) e ultrassupercríticos “Ultra Supercritical Cycle” (USC) (SILVA, 2016; EPE, 2018).

Resumo das principais variáveis de composição de UTE

Diante do que foi apresentado, a Figura 55 traz um resumo das principais variáveis e processos que compõem uma UTE. Pode-se observar que a conversão de energia térmica em energia elétrica funciona com base em dois tipos de turbinas: turbina à vapor e turbina à gás. O vapor dessas centrais é gerado através da queima de combustíveis nas caldeiras. Esse processo requer água tanto em quantidade quanto em qualidade. Para isso, a água passa por tratamentos físicos, químicos e se necessário, biológicos. A qualidade da água é necessária também nos sistemas de resfriamento para evitar a formação de incrustação, bioincrustação e corrosão nos equipamentos e tubulações. Tanto as caldeiras quanto as torres de resfriamento perdem água através da purga (descarte de água para evitar acúmulo de impurezas). A redução das perdas de água nos processos estão associados à eficiência operacional da usina.

Figura 55: Fluxograma representativo das principais variáveis e alguns fluxos de água e energia que compõe uma usina termelétrica



Fonte: Próprio autor

A eficiência total dessas plantas de geração aumentam basicamente em função do aumento da temperatura e da pressão de vapor, podendo ser dividida em quatro tipos (SILVA, 2016; BREEZE, 2017; GUIMARÃES FRANCISCO, 2018; DUBE, 2018): (1) subcrítico (operam com temperatura menor que 540 °C, pressão menor que 22 Mpa, abaixo da pressão crítica da água, e alcançam eficiências entre 33 à 35%); (2) supercrítica (trabalham com temperaturas entre 600 °C à 615 °C, pressão de até 25 MP e eficiência entre 36 à 40%); (3) ultra supercrítica (operam com pressão acima de 25 MPa e temperatura entre 600 °C e 620 °C com eficiência entre 42% à 45%); e (4) ultra supercrítica avançada (alcançam até 35 MPa e temperaturas entre 700 °C e 760 °C, com eficiência acima de 46%). Os avanços no desenvolvimento de materiais mais fortes capazes de operar com altas temperaturas e pressões

possibilitou construir usinas supercríticas à ultra supercrítica avançada (BREEZE, 2017; DUBE, 2018).

No Brasil, até o momento, ainda prevalece termelétrica à ciclo subcrítico (MIRANDA, 2012). UTEs movidas à carvão, que operam em ciclo super crítico e ultra supercrítica, tem sido tecnologias muito desenvolvidas no Japão, Estados Unidos e Alemanha (MME/EPE, 2007). Importante destacar que a classificação da eficiência total das usinas, assim como investigação do quantitativo de consumo de energia nos processos de tratamento da água utilizados pelas UTEs, não foram parâmetros avaliados pelo presente estudo, merecendo destaque em pesquisas futuras.

4.3.2.1.2 Combustíveis Fósseis (Refinarias de petróleo)

Combustíveis fósseis compreendem gás natural, carvão e petróleo. A investigação das inter-relações nexus água-energia deve ser feito para cada segmento separadamente, mapeando os fluxos de água em seus processos. Neste item serão consideradas investigações no âmbito do petróleo, especificamente voltado para a variável de consumo de água em refinarias de beneficiamento deste recurso. A etapa de extração de petróleo não foi considerada devido à falta de informações específicas para o caso brasileiro.

As refinarias de petróleo são utilizadas para converter óleo bruto em frações específicas (através de processos de separação, conversão, tratamento, dentre outros) para que seja possível seu uso energético e não energético (SOUZA, 2018). Uso energético refere-se ao consumo de derivados de petróleo (conversão de energia primária em secundária) a partir da queima como, por exemplo, gasolina A, gasolina de aviação, GLP, Óleo combustível, óleo diesel, dentre outros (EPE, 2019). Uso não energético são os derivados de petróleo que são utilizados para outros fins que não seja a queima, como por exemplo, asfalto, coque, nafta, óleo lubrificante, parafina, solvente, dentre outros (EPE, 2019).

Quanto mais rigorosas forem as especificações da conversão dos derivados de petróleo (energético e não energético), maior será a demanda por água e energia nos processos de refino (GUEDES *et al.*, 2019). As análises das inter-relações entre água-energia nas refinarias presentes no Brasil foi realizada com base em trabalhos técnico-científicos (VANELLI, 2004; BARBOSA *et al.*, 2005; AMORIM, 2005; CARVALHO, 2006; SCHOR, 2006; LEMES, 2007; NOGUEIRA, 2007; POMBO, 2011; ANZE, 2013; GRIPP, 2014; SOUZA, 2018; GUEDES *et al.*, 2019) e com base no banco de dados da ANP.

A maioria dos trabalhos técnico-científicos analisou alternativas para redução do consumo de água nas unidades de processamento em refinarias de petróleo e a redução de emissões de GEE. Vanelli (2004) avaliou as rotas técnicas para racionalizar o consumo de água e a redução de efluentes em refinarias de petróleo de forma economicamente viável, tendo como estudo de caso a Refinaria Henrique Lage (REVAP). Barbosa *et al.* (2005) apresentam experiências internacionais da utilização do reuso de água em refinarias e discute sobre a regulamentação dessa técnica no Brasil por meio de instrumentos da gestão de águas. Amorim (2005) propôs identificar alternativas ambientalmente viáveis que atendam as demandas atuais e futuras de água da Refinaria de Paulínia (REPLAN). Carvalho (2006) analisou programas de conservação e reuso da água em refinarias de petróleo a partir de tecnologias de reciclo de efluentes. Schor (2006), através de um estudo de caso na Refinaria Duque de Caxias (REDUC), investigou a disponibilidade hídrica da instalação e apresentou alternativas complementares para o abastecimento de água dessa unidade.

Lemes (2007) desenvolveu seu estudo também na Refinaria REDUC no intuito de eliminar ou reduzir os riscos associados aos conflitos pelo uso da água na região de instalação da unidade.

Nogueira (2007) realizou o balanço hídrico da refinaria REPLAN para todas as etapas de seu processo. Pombo (2011) traz uma relação de tecnologias direcionadas para o tratamento de efluentes em refinarias de petróleo com o objetivo de implementar o reuso nessas unidades. Anze (2013) teve por objetivo avaliar problemas de alocação ótima e reuso de água a partir de metodologias de otimização. Gripp (2014) avaliou diferentes cenários de tratamento de efluentes a partir de critérios econômicos, energético e ambiental utilizando como base Análise do Ciclo de Vida (ACV). Souza (2018) analisou as interferências dos múltiplos usos da água na operação de refinarias, apontando alternativas de redução do seu consumo de água. Guedes *et al.* (2019) avaliaram as inter-relações nexus água-energia-clima nas refinarias brasileiras, dando atenção especial para a Refinaria de Paulínia (REPLAN).

As informações referentes ao consumo de água nas refinarias e a análise da situação hídrica da região de implantação da unidade foram encontradas nos trabalhos citados anteriormente. Outras informações como número de refinarias, início de operação, operador, região hidrográfica, capacidade de refino e volume de carga processado estão presentes no banco de dados da ANP.

Para compreender essas características é necessário conhecer as unidades de processamento presentes em refinarias de petróleo no Brasil e as etapas que envolvem o consumo de água.

Unidades de processamento

As unidades de processamento de refino do petróleo necessitam de água e energia para seu funcionamento. Essas unidades podem ser divididas da seguinte forma (NOGUEIRA, 2007; POMBO, 2011; ANZE, 2013; GRIPP, 2014; SOUZA, 2018):

- **Separação:** Destilação atmosférica e destilação a Vácuo.
- **Conversão:** Craqueamento Térmico; Craqueamento Catalítico; Coqueamento retardado; Hidrocraqueamento; Reforma Catalítica.
- **Tratamento:** Hidrotratamento e dessalgação eletrostática.
- **Processos Auxiliares:** Geração de hidrogênio; Recuperação de Enxofre.

Dos tipos de processamentos citados, Souza (2018) aponta como unidades mais comuns no Brasil a dessalgação, destilação atmosférica e a vácuo, craqueamento catalítico, hidrotratamento e coqueamento.

A água captada possui vários usos dentro de uma refinaria, e para cada um deles é necessário um tratamento específico que demanda de água e energia para operar (VANELLI, 2004). Por exemplo, nas caldeiras para gerar vapor, a água deve ser desmineralizada e passar por um sistema de desaeração (processo de redução de oxigênio dissolvido) para evitar a formação de incrustações no sistema provenientes de óxidos (NOGUEIRA, 2007). A desmineralização, por sua vez, envolve processos que também consomem água e energia, como por exemplo, osmose reversa, troca iônica, deionização contínua, nanofiltração, eletrodialise inversa, dentre outros (SCHOR, 2006).

Logo, observa-se que a produção de vapor em caldeiras envolve consideráveis demandas de água que devem ser constantemente revistas devido às múltiplas finalidades associadas ao seu uso (VANELLI, 2004): aquecimento de produtos por troca térmica; acionamento de turbinas; injeção em torres para retificação de produtos leves; geração de vácuo em ejetores; purga de equipamentos para liberação e abertura para manutenção; limpeza de maquinários; aquecimento de tubulações e tanques de produtos; descoqueamento de fornos, dentre outros.

O processo de dessalgação é o primeiro tratamento do óleo cru ao chegar em uma refinaria. Tem por objetivo, a remoção de sais corrosivos, areia, sólidos em suspensão, metais e umidade em função da interferência desses compostos no processo de refino (POMBO, 2011; SOUZA, 2018). Esse processo envolve uma mistura de água com óleo, onde a função da água é dissolver os sais (POMBO, 2011; ANZE, 2013; SOUZA, 2018). A água é removida através de processo químico ou elétrico, sendo encaminhada para uma estação de tratamento (POMBO, 2011).

Destilação atmosférica e destilação a Vácuo correspondem ao tratamento inicial do refino e são considerados os principais processos (NOGUEIRA, 2007; SOUZA, 2018). São processos físicos onde o petróleo é fracionado de acordo com seus pontos de ebulição (ANZE, 2013; SOUZA, 2018). O aquecimento do petróleo ocorre por um trocador de calor, os compostos mais leves irão se concentrar na parte de cima da coluna de destilação, e os compostos mais pesados se concentram na parte de baixo da coluna (POMBO, 2011). Os principais produtos gerados são: gasolina, nafta e componentes leves; querosene, gasóleo leve; gasóleo pesado; resíduo de fundo; gás de refinaria (metano e etano) (POMBO, 2011). A água é utilizada neste processo especialmente para gerar vapor para ser utilizado nas colunas de destilação, nos trocadores de calor e água para reposição. Em média, estima-se que é gerado 100 litros de efluentes provenientes desse processo por barril de petróleo processado, representando uma das unidades que mais consomem água e geram efluentes (SOUZA, 2018).

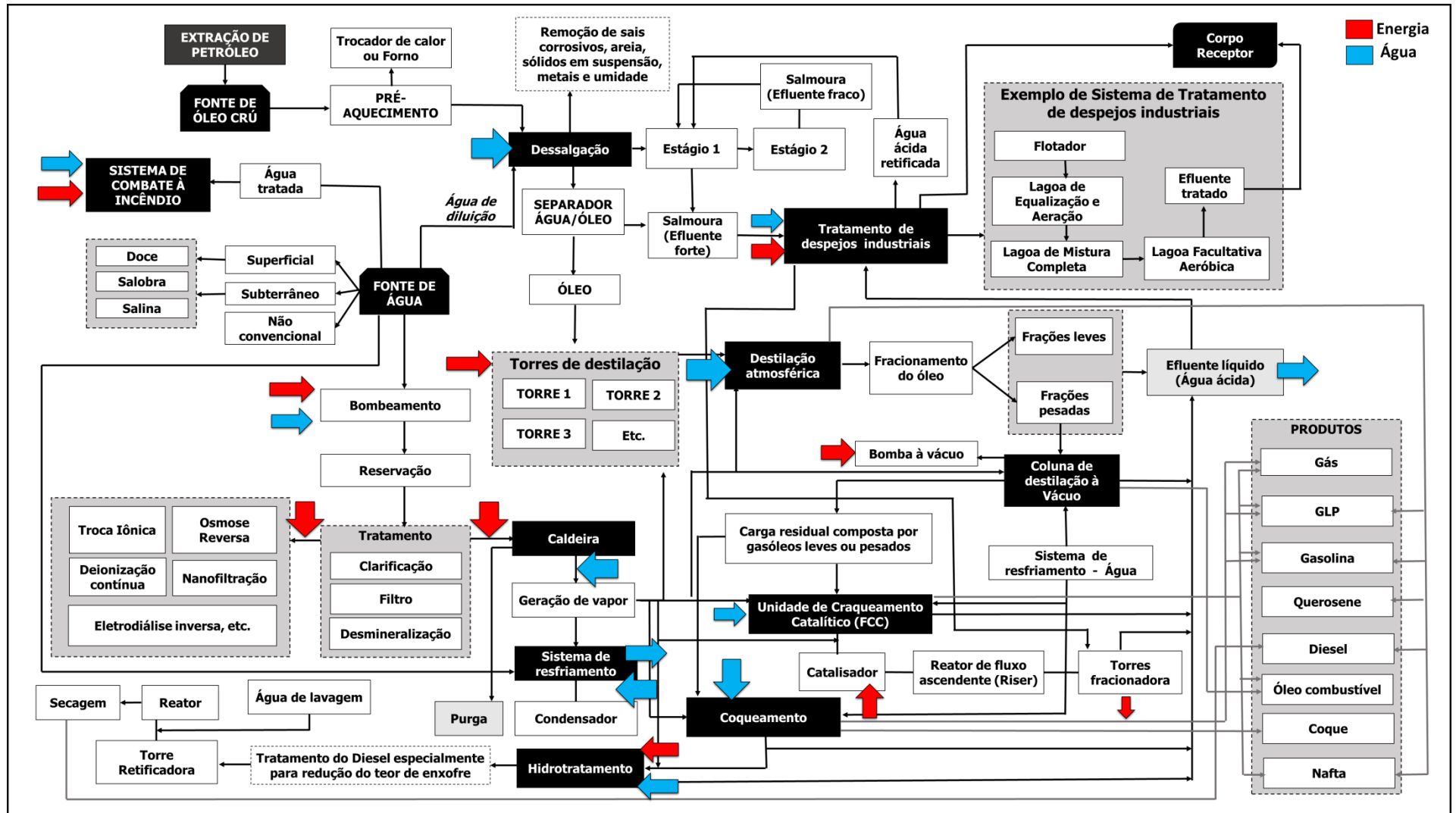
No estudo proposto por Guedes *et al.* (2019), 44% do consumo de água de uma refinaria é destinada às unidades de destilação atmosférica e destilação a vácuo, seguida pelas unidades de Craqueamento Catalítico somado à unidade de Craqueamento Catalítico de Resíduos (28%).

Unidade de Craqueamento Catalítico (FCC) consiste em converter frações mais pesadas do petróleo (gasóleo e resíduos) em frações mais leves a partir da quebra de suas moléculas (ANZE, 2013). É um processo que demanda de água para: (a) injeção de vapor no reator para controle do processo; (b) lavagem de gases de topo da fracionadora e lavagem de gases de topo da fracionadora (NOGUEIRA, 2007). O volume de efluentes gerado é cerca de 50 litros por barril processado (SOUZA, 2018). Para Anze (2013), a unidade de FCC gera a maior quantidade de água ácida dentre os processos de refino de petróleo.

Unidades de Hidrotratamento (HDT) e Unidade de Geração de Hidrogênio (UGH) têm por objetivo reduzir impurezas na faixa do petróleo de óleo diesel para eliminar principalmente enxofre e nitrogênio pela hidrogenação catalítica (NOGUEIRA, 2007; SOUZA, 2018). Os principais consumos de água nestas unidades são (NOGUEIRA, 2007): (a) injeção de água ácida retificada a jusante do reator de hidrotratamento; (b) injeção de vapor nas torres de retificação de diesel; e (c) injeção de vapor nos ejetores.

Na unidade de Coqueamento retardado, os resíduos gerados nas torres de destilação à vácuo são transformados em produtos mais leves e economicamente viáveis como gás, GLP, gasolina, diesel e coque (NOGUEIRA, 2007; ANZE, 2013). A Figura 56 apresenta um diagrama representativo dos principais processos que ocorrem nas refinarias de petróleo. A unidade de maior demanda de água é a destilação atmosférica e destilação a vácuo seguida pelos processos de craqueamento catalítico e craqueamento catalítico de resíduos.

Figura 56: Fluxograma representativo das principais variáveis e alguns fluxos de água e energia que compõe uma refinaria de petróleo



Fonte: Próprio autor

Consumo de água e situação hídrica da região

O consumo de água varia em função da configuração do empreendimento, tecnologias adotadas nas unidades de processamento, complexidade, capacidade de reciclagem e localização (WU & CHIU, 2011).

Os valores apresentados na Tabela 21, referentes às demandas de água para as refinarias instaladas no Brasil (total de 17 unidades, tendo o ano de 2018 como referência), foram identificadas nos estudos de Schor (2006), Lemes (2007) e Souza (2018). Importante destacar que os autores apresentaram valores um pouco diferentes quanto às estimativas do consumo de água. Essas diferenças podem estar relacionadas com a fonte das bases de dados de entrada e com o método utilizado nos cálculos. Para as refinarias Riograndense, Manguinhos, UNIVEN e Dax Oil não foram encontradas estimativas das demandas de água.

Em um contexto geral, Moura (2010) apresenta um valor médio de 430 à 600 milhões de litros de água por dia consumido nas refinarias de petróleo brasileiras. Diepolder (1992) aponta como média mundial de consumo de água em refinarias de 0,7 à 1,2 m³ água/m³ petróleo processado.

No Brasil, as refinarias possuem uma demanda média de água de 22.464 m³/dia (Tabela 21). A Refinaria REPLAN possui o valor mais expressivo (média de 45.676 m³/dia) e a Refinaria RPCC corresponde o valor menos expressivo (864,0 m³/dia). Comparando essas duas refinarias, tem-se a REPLAN como a maior unidade do país em termos de capacidade de refino (433.997 barril/dia) e volume de carga processada (288.190,5 barril/dia), tanto petróleo nacional quanto internacional e a RPCC com uma estrutura menor em termos de capacidade processada (44.657,6 barril/dia) e volume de carga (31.013,34 barril/dia). Além dessas características, observa-se também que a REPLAN iniciou suas operações em 1972 e está instalada em uma região hidrográfica com situação hídrica muito crítica (São Paulo, bacia do Paraná, especificamente no rio Tietê), enquanto a RPCC iniciou suas operações no ano 2000 e está instalada em uma região hidrográfica com situação hídrica crítica (Rio Grande do Norte, bacia do Atlântico Nordeste Oriental). A REPAR e RECAP também se encontram na região do rio Tietê.

A RECAP está localizada no Alto Tietê, sendo uma região de grande densidade populacional, considerada uma das mais críticas do Estado de São Paulo em termos de atendimento às demandas pelo uso da água (SOUZA, 2018). A Região Hidrográfica (RH) do Paraná, que compreende o rio Tietê, no ano de 2018 teve uma redução em sua vazão de 53,3% em comparação ao ano de 2017 (ANA, 2019i). Além disso, o setor industrial representa na bacia a segunda maior captação de água (20%), ficando abaixo apenas da demanda de irrigação (54%) (ANA, 2019i).

Situação semelhante ocorre com as refinarias REDUC, REVAP, RPBC, Manguinhos e UNIVEN, localizadas na RH do Atlântico Sudeste e as refinarias RPCC, RNEST e LUBNOR, localizadas na RH Atlântico Nordeste Oriental, todas implementadas em regiões hídricas classificadas em situação preocupante à muito crítica (Figura 56). A RH Atlântico Sudeste teve uma redução de vazão na ordem de 39,6% em comparação ao ano de 2017, e a RH Atlântico Nordeste Oriental teve uma redução de vazão de 93,5 % para o mesmo período (ANA, 2019i).

A Refinaria REDUC possui sua captação no manancial que abastece 80% da população do Rio de Janeiro (LEMES, 2007). Sua demanda de água está entre 38.016 m³/dia - 57.120 m³/dia (Tabela 21). Fazendo uma relação do consumo de água por petróleo processado, é possível apontar que para cada 1 m³ de petróleo processado é necessário 1,24 m³ de água (LEMES, 2007), estando este valor próximo à média mundial descrito por Diepolder (1992).

Tabela 21: Características das refinarias de petróleo presentes no Brasil

Nome da Refinaria	Sigla	Início de operação	Operador	UF	Região Hidrográfica	Rio de captação	Capacidade de refino (barril/dia) - 2018	Volume de carga processada (nacional e importada) (barril/dia) - 2018	Demanda de água (m³/dia)	Efluente (m³/d) ***	Situação hídrica
Paulínia	REPLAN	1972	Petrobrás	SP	Paraná	Piracicaba – SP	433.997	288.190,5	56.160,0*	13.745	Muito Crítico
									41.448**		
									39.421***		
Landulpho Alves	RLAM	1950	Petrobrás	BA	Atlântico Leste	Itapecuru-Paraguaçu	377.388,6	17.771,6	19.872,0*	15.989	Crítico
									28.272**		
									27.791***		
Henrique Lage	REVAP	1980	Petrobrás	SP	Atlântico Sudeste	Paraíba do Sul – SP	251.592,4	43.053,09	30.240,0*	10.276	Preocupante
									26.328**		
									21.239***		
Duque de Caxias	REDUC	1961	Petrobrás	RJ	Atlântico Sudeste	Saracuruna+ Guandu –RJ	251.592,4	192.385,33	38.016,0*	25.285	Muito crítico
									57.120**		
									41.342***		
Presidente Getúlio Vargas	REPAR	1977	Petrobrás	PR	Paraná	Paraná – PR	213.853	173.057,2	31.104,0*	8.852	Confortável
									19.200**		
									16.091***		
Alberto Pasqualini S.A.	REFAP	1968	Petrobrás	RS	Atlântico Sul	Sinos – RS	220.143	138.017,5	26.784,0*	6.546	Preocupante
									15.000**		
									13.759***		
Presidente Bernardes	RPBC	1955	Petrobrás	SP	Atlântico Sudeste	Baixada Santista – SP	169.824,8	143.289,9	29.376,0*	21.381	Muito crítico
									28.944**		
									27.276***		
Gabriel Passos	REGAP	1968	Petrobrás	MG	São Francisco	Paraopeba – MG – Ato São Francisco	166.051,3	143.361,6	20.736,0*	9.483	Preocupante
									23.616**		
									22.425***		
Capuava	RECAP	1954	Petrobrás	SP	Paraná	Alto Tietê – SP	62.898,2	49.693,47	6.048,0*	2.194	Muito Crítico
									7.560**		
									6.385***		

Tabela 21: Continuação

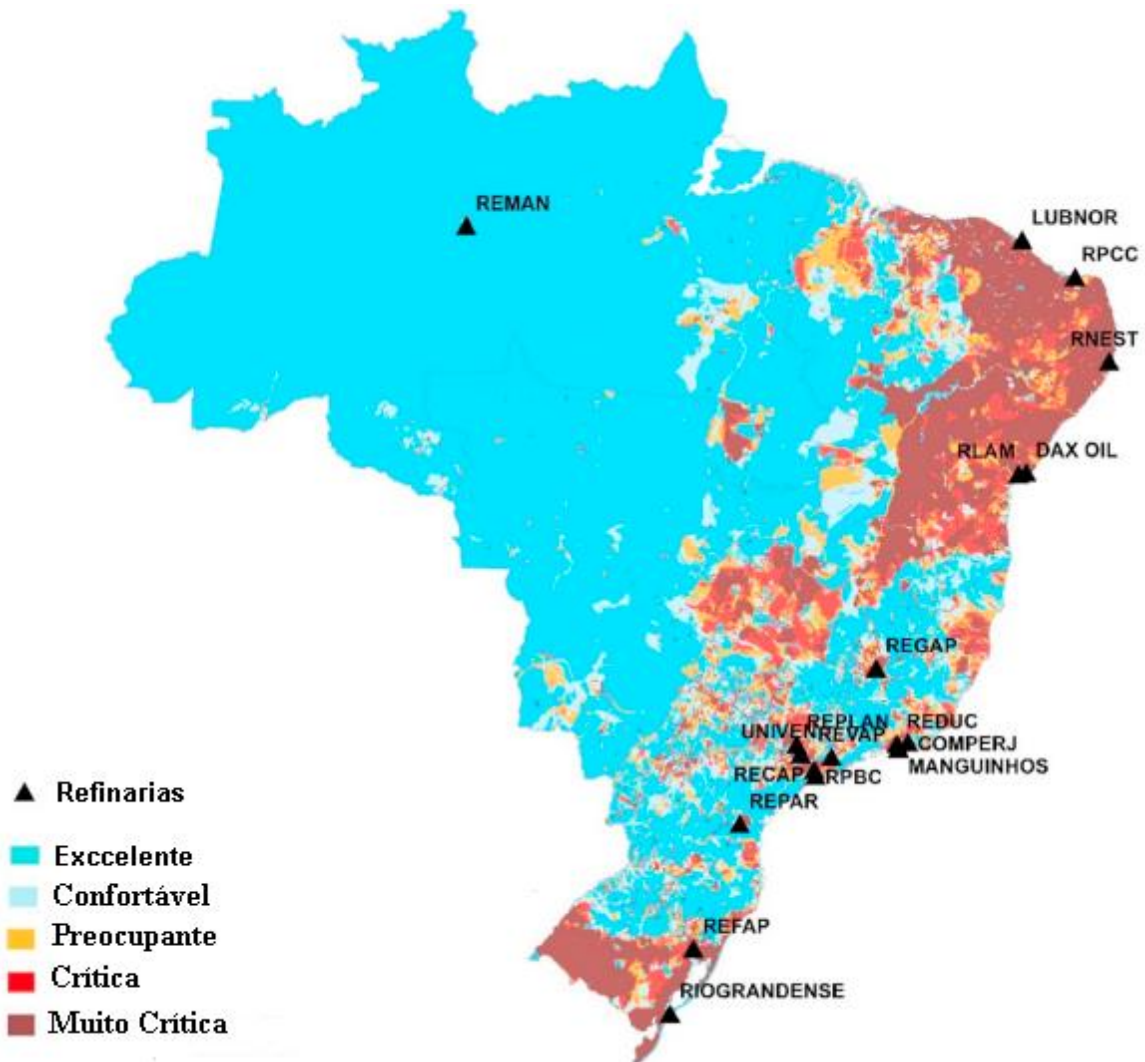
Nome da Refinaria	Sigla	Início de operação	Operador	UF	Região Hidrográfica	Rio de captação	Capacidade de refino (barril/dia) - 2018	Volume de carga processada (nacional e importada) (barril/dia) - 2018	Demanda de água (m³/dia)	Efluente (m³/d) ***	Situação hídrica
Isaac Sabbá	REMAN	1956	Petrobrás	AM	Amazônica	Negro – AM	45.915,6	29.438,9	3.456,0*	3.287	Excelente
									4.368**		
									3.261***		
Potiguar Clara Camarão	RPCC	2000	Petrobrás	RN	Atlântico Nordeste Oriental	-	44.657,6	31.013,34	864,0*	-	Crítico
Abreu e Lima	RNEST	2014	Petrobrás	PE	Atlântico Nordeste Oriental	Rio Ipojuca	115.009,2	78.779,9	6.912,0*	400 - 600 ****	Muito Crítico
Riograndens e S.A.	Riograndense	1937	Privada com participação da: Petrobrás, Braskem e Ultrapar	RS	Atlântico sul	-	17.013,9	14.410,54	-	-	Muito crítico
Manguinhos S.A.	Manguinhos	1954	Privada	RJ	Atlântico Sudeste	-	14.000	9.875,91	-	-	Crítico à muito crítico
Univen Refinaria de Petróleo Ltda.	UNIVEN	2007	Privada	SP	Atlântico Sudeste	-	5.158	-	-	-	Crítico à muito crítico
Lubrificantes e Derivados de Petróleo do Nordeste	LUBNOR	1966	Petrobrás	CE	Atlântico Nordeste Oriental	Reg. Met. Fortaleza	10.378,2	8.110,2	960**	-	Muito crítico
Dax Oil Refino S.A.	Dax Oil	2008	Privada	BA	Atlântico Leste	-	2.094,5	31.013,34	-	-	Crítico à muito crítico

Fonte: Próprio autor (com base nos dados da ANP, 2018; *Souza, 2018; **Lemes, 2007; ***Schor, 2006; ****Pombo, 2011).

Fazendo uma comparação entre a REDUC com a REVAP, por ambas possuírem a mesma capacidade de refino (251.592,4 barril/dia), observa-se que a REDUC possui uma demanda de água maior, conseqüentemente, uma geração de efluente também superior (25.285 m³/dia) à demanda de água da REVAP (21.239 – 30.240 m³/dia) e sua geração de efluentes (10.276 m³/dia). No entanto, o volume processado de petróleo é superior na REDUC (92.385,33 barril/dia) considerando os dados tabulados para o ano de 2018. A REVAP apresentou um volume processado de 43.053,09 barril/dia para o mesmo ano em análise.

Segundo Guedes *et al.* (2019), as principais refinarias do país, REPLAN (SP), REVAP (SP), RLAM (BA) e REDUC (RJ), se encontram em regiões hídricas classificadas entre preocupante à muito crítico como ilustra a Figura 57. Essas refinarias correspondem juntas à 54% do refino de petróleo do país (GUEDES *et al.*, 2019). A maioria das refinarias instaladas no Brasil estão concentradas na região Nordeste, Sudeste e Sul.

Figura 57:Localização das refinarias de petróleo do Brasil por situação hídrica



Fonte: Adaptado de ANA (2017) citado por Guedes *et al.* (2019)

Além de apresentar o consumo de água nas refinarias e a situação hídrica das regiões de interesse, é importante identificar quais unidades de processamento consomem mais água. Os estudos de Anze (2013), Nogueira (2007) e Souza (2018) relatam que o maior consumo de água em refinarias é proveniente da reposição de água em sistemas de torres de resfriamento

seguido pela água para geração de vapor nas caldeiras. Pombo (2011) traz uma relação de 60-70% da água na refinaria utilizada nas torres de resfriamento para 20-30% utilizadas em caldeiras para geração de vapor. Vanelli (2004) coloca que além dos sistemas de resfriamento, o consumo de água em refinarias também ocorrem nos tanques de armazenamento; motobombas; sistemas de combate a incêndio que incorpora reservatórios, redes de distribuição e hidrantes; e sistemas de controle e automação.

Amorim (2005), analisando o consumo de água nas refinarias da Petrobrás, encontrou 46% da água destinada para torres de resfriamento, 26% para caldeiras, 9% para incêndio e 19% para serviços e abastecimento. Nogueira (2007) realizou o balanço hídrico da Refinaria REPLAN a partir de dados coletados *in loco* utilizando instrumentos de medição de vazão dos diversos fluxos de água na planta industrial para um período de 18 meses. A partir dos resultados das medições, os autores encontraram uma demanda de 1.653 m³/h de água, sendo que desse valor, sua maior parte era direcionada para reposição nas torres de resfriamento em função das perdas por evaporação (790,5 m³/h). A Figura 58 ilustra o balanço dos fluxos de água na refinaria. Os valores encontrados por Nogueira (2007), quanto à demanda de água e geração de efluentes, são semelhantes aos valores apontados por Schor (2006) como ilustra a Tabela 21.

Figura 58: Balanço hídrico total da REPLAN considerando somente as entradas e saídas globais da Refinaria REPLAN



Fonte: Nogueira (2007).

No balanço hídrico, a água de processo (água filtrada na ETA) era destinada sua maior parte para unidades de coqueamento, e outra parcela era exportada para a empresa EXXON (NOGUEIRA, 2007).

Na visão de Carvalho (2006), qualquer redução no consumo de água no sistema de resfriamento promove um grande impacto na redução global da refinaria, visto que a maior parcela de água é destinada à essa finalidade. Diante disso, muitos trabalhos foram desenvolvidos para investigar alternativas ambientalmente e economicamente viáveis voltadas para os princípios da redução, reuso (água recuperada sem qualquer mudança em sua qualidade) e reciclo (água recuperada após sua qualidade ter sido recuperada) de água nas plantas industriais (CARVALHO, 2006; SHOR, 2006).

As Refinarias REPLAN e Manguinhos, por exemplo, possuem parte de suas unidades operando com água de reuso (CARVALHO, 2006; NOGUEIRA, 2007). Na refinaria de

Manguinhos, a água proveniente do último estágio da ETE (lagoa de aeração) passava por um tratamento de remoção de sólidos suspensos e era enviado para torres de resfriamento (NOGUEIRA, 2007). Porém, isso promoveu várias intervenções de manutenção nos trocadores de calor que culminou em um maior custo para a refinaria e perda de eficiência nos processos. As principais falhas apontadas por Nogueira (2007) referentes ao reciclo de efluentes são: falta de otimização da ETE o que levou em flutuações na qualidade da água; ausência de tratabilidade da água circulante o que dificulta as dosagens do tratamento químico; ausência de tratamento no controle microbiológico nas torres de resfriamento, dentre outros.

Impacto

Nas refinarias de petróleo são gerados significativos impactos, em especial, ressalta-se a geração de efluentes (aquoso e oleoso) e emissão de GEE. Para Guedes *et al.* (2019), essas refinarias são uma atividade intensiva em energia e água, cuja emissões estão relacionadas à combustão e conversão química dos combustíveis fósseis e a geração de efluentes estão associadas ao consumo de água nas unidades de processamento.

Quanto maior o consumo de água nesses empreendimentos, maior será a geração de efluentes. Na REPLAN, por exemplo, pode-se verificar que do total de 1.653 m³/h de água que entram na planta, são gerados 617,3 m³/h de efluentes que são lançados no corpo hídrico (NOGUEIRA, 2007). Das unidades apresentadas na Tabela 21, as Refinarias REDUC e RBBC apresentaram as maiores vazões de efluentes gerados, 25.285 m³/dia e 21.381 m³/dia, respectivamente (Tabela 21).

Analisando o porte das refinarias, quanto ao volume processado, em relação a geração de efluente, percebe-se na Tabela 21 que apesar da RPBC e REGAP possuírem valores semelhantes (143.289,9 barril/dia e 143.361,6 barril/dia, respectivamente), ambas possuem geração de efluentes muito discrepantes. A RPBC gera em média 21.381 m³/dia enquanto à REGAP gera uma média de 9.483 m³/dia (Tabela 21). Essas diferenças podem estar associadas à tecnologia utilizada nas unidades de processamento, ao tipo de produto gerado na unidade e ao grau de gerenciamento das técnicas de redução, reuso e reciclo.

Para cada unidade de processamento em refinarias de petróleo são gerados efluentes especialmente relacionados à utilização de vapor d'água. A depender do processo utilizado, os efluentes podem seguir os seguintes destinos (VANELLI, 2004):

- Aquecimento ou acionamento de turbinas: devido à falta de contato com outros produtos da refinaria, o vapor utilizado nesses processos pode ser recuperado como condensado limpo a partir da purificação;
- Purga, descoqueamento e limpeza geral: vapor utilizado nesses processos devem ser lançados na Estação de Tratamento de Efluentes Industriais (ETDI);
- Processos, sob a forma de vapor de retificação ou fluido motriz de ejetores: Neste caso, o vapor é incorporado ao produto e depois de separado gera um efluente com alta concentração de poluentes, devendo ser direcionado à estação de tratamento.

A Tabela 22 apresenta uma síntese dos efluentes gerados nas unidades de processamento e suas principais composições. Como ilustra a tabela, os principais poluentes presentes são H₂S, NH₃, fenóis, Cl e HCN. As maiores concentrações desses compostos encontram-se na unidade de craqueamento catalítico. Quanto às emissões de CO₂, as etapas de destilação atmosférica e destilação à vácuo são responsáveis pelos maiores valores de lançamento.

Tabela 22: Composição dos principais efluentes gerados nas unidades de processamento de refinarias de petróleo

Unidade de processamento	Uso da água	Destino dos efluentes	Emissão de CO ₂ (%)	Composição	Concentração (ppm)
Destilação atmosférica	Retificação e aquecimento	Tratamento de água ácida e Retorno de condensado (efluente do aquecimento)	55	H ₂ S	50 - 200
				NH ₃	20 - 200
				fenóis	10 - 30
				Cl	50 - 300
Destilação a vácuo	Retificação, injeção nos fornos, fluido motriz dos ejetores	Tratamento de água ácida	55	H ₂ S	20 - 100
				NH ₃	10 - 100
				fenóis	0 - 10
Hidrocraqueamento	Esgotamento, retificação, fluido motriz dos ejetores, lavagem de sais	Tratamento de água ácida	8	H ₂ S	19.000
				NH ₃	11.000
				Cl	4.000 – 6.000
Craqueamento catalítico	Reator, <i>Riser</i> , retificação	Tratamento de água ácida	19	H ₂ S	2.000 – 6.000
				NH ₃	1.000 – 4.000
				fenóis	50 - 200
				Cl	50 - 300
Coqueamento retardado	Injeção no forno, Injeção nos tambores, retificação	Tratamento de água ácida	-	H ₂ S	4.000
				NH ₃	2.500
				HCN	50 - 300

Fonte: Próprio autor (com base nos dados apresentados nos resultados de Anze, 2013 e Guedes *et al.*, 2019).

4.3.2.1.3 Usinas Hidrelétricas (UHE)

O caso das usinas hidrelétricas, nas relações água-energia, envolve às suas perdas físicas principalmente por evaporação dos reservatórios e perdas hidráulicas ao longo do processo, já que a utilização da água é caracterizada como consuntivo (FGV, 2019). Neste caso, os estudos encontrados no Brasil que relacionaram consumo de água em UHE foram direcionados para análises da pegada hídrica dos reservatórios (COELHO, 2016; BUENO *et al.*, 2016; VIEIRA *et al.*, 2018; SEMERTZIDIS *et al.*, 2018) ou avaliações dos seus índices evaporativos (PEREIRA *et al.*, 2009; VIEIRA *et al.*, 2016; COELHO, 2016). Diante disso, foram analisadas as taxas de evaporação e a pegada hídrica quantificada por diferentes autores na literatura.

Coelho (2016) estimou a evaporação e a pegada hídrica dos reservatórios de Tucuruí - PA e de Lajeado - TO no intuito de contribuir para estudos de eficiência hídrica em UHE. Bueno *et al.* (2016), em questionamento se os reservatórios realmente representam um uso não consuntivo, estimou taxas de evaporação e pegada hídrica da UHE de Camargos, rio Grande - Minas Gerais no período de 2010 à 2014. Vieira *et al.* (2018) estimou a pegada hídrica do reservatório de Sobradinho-BA no período de 2003 a 2012. Semertzidis *et al.* (2018) calcularam a evaporação e a pegada hídrica para vários reservatórios do Brasil no período de 2010 – 2016. Pereira *et al.* (2009) calcularam a evaporação líquida do reservatório de Sobradinho-BA por vários métodos e analisaram os impactos no escoamento. De forma semelhante, o trabalho de Vieira *et al.* (2016) estimaram a evaporação dos reservatórios de Sobradinho-BA e Três Marias-MG.

As publicações sobre consumo de água em hidrelétricas no Brasil ocorreu nos últimos cinco anos. Porém, desde o lançamento do “Relatório Especial sobre Fontes de Energia Renováveis e Mitigação das Mudanças Climáticas” pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) (SEMERTZIDIS *et al.*, 2018) que o impacto das hidroeletricidade nos recursos hídricos passou a receber maior atenção.

A quantificação do consumo de água em UHE tem sido realizada utilizando o método de pegada hídrica com frequência nas publicações. Demeke *et al.* (2013) descreve pegada hídrica como o consumo direto e indireto de água (azul, verde e cinza) para produção de bens e serviços. Segundo os autores, no caso de hidrelétricas, é considerada apenas a pegada hídrica azul. Neste caso, pode-se conceituar pegada hídrica como um “indicador calculado pela relação entre o consumo de água de usinas hidrelétricas e a energia produzida” (COELHO, 2016). Quanto ao cálculo da evaporação em reservatórios, vários métodos tem sido testados, dentre eles, Tanque Classe A, Linacre, Penman, Kohler *et al.*, CRLE, Thornthwaite, dentre outros (PEREIRA *et al.*, 2009; VIEIRA *et al.*, 2016; BUENO *et al.*, 2016).

A Tabela 23 ilustra a pegada hídrica e as perdas de água por evaporação para algumas hidrelétricas instaladas no Brasil. As diferenças encontradas por alguns autores nos valores das variáveis citadas também estão apresentadas na tabela.

Observa-se que as usinas que apresentaram maior pegada hídrica foram UHE Sobradinho, UHE Balbina e UHE Camargos. Dessas usinas, a situação mais crítica é o da Usina de Balbina que apresentou uma alta pegada hídrica (2.613,79 m³/MWh). Isso ocorreu porque a usina possui o maior reservatório do Brasil em termos de área, porém, apresenta uma capacidade instalada relativamente baixa de 250 MW. Comparando essa usina com a UHE Sobradinho, que possui a área do reservatório semelhante, Sobradinho apresenta uma pegada hídrica menor (854,82 m³/MWh), e uma capacidade instalada maior (1.050,3 MW). Enquanto que a UHE Ilha dos Pombos, que possui uma capacidade instalada relativamente alta e um reservatório relativamente pequeno, apresenta uma pegada hídrica muito baixa.

De forma geral, pode-se resumir que a pegada hídrica de uma usina tenderá a apresentar valores altos quando a usina possuir grandes áreas, taxa de evaporação alta e baixa capacidade de geração. O inverso se aplica, ou seja, quanto menor a área do reservatório, maior sua capacidade de geração e taxas de evaporação média à baixa, tende a apresentar pegada hídrica menor.

A UHE Camargos, no ano de 2014, apresentou a maior pegada hídrica de sua série de dados dentre o período de 2010 – 2014 (BUENO *et al.*, 2016). Isso ocorreu em função de dois aspectos: período de seca que atingiu essa região no ano de 2014, fazendo com que a usina gerasse apenas 6 MW; e a alta evaporação, que alcançou valores superior aos estimados para os demais anos no mesmo período (BUENO *et al.*, 2016). Utilizando esse caso como exemplo, percebe-se a relevância em estimar a pegada hídrica para diferentes períodos temporais visando uma melhor representação da realidade local.

Tabela 23: Evaporação líquida e pegada hídrica de algumas hidrelétricas instaladas no Brasil

Nome da Usina	Rio de instalação da usina	Início de operação	Região	Área do reservatório (Km ²)*	Capacidade Instalada (MW) *	Evaporação (mm/ano) *	Pegada Hídrica (m ³ /Mwh) *
Água Vermelha (Antiga José Emírio de Moraes)	Rio Grande	1979	Sudeste	673,63	1.396,2	1.580	87,01
Itaipu	Rio Paraná	1984	Sul	1.049,56	7.000	1.400	23,96
						1.808**	28,8**
Porto Primavera (Eng ^o Sérgio Motta)	Rio Paraná	1999	Sul	2.976,98	1.540	1.385	305,6
Emborcação	Rio Paranaíba	1982	Centro-Oeste	485,08	1.192	1.445	67,19
Balbina	Rio Uatumã	1989	Nordeste	4.437,72	250	1.289,89	2.613,8
Barra dos Coqueiros	Rio Claro	2010	Centro-Oeste	25,3	90	1.607,93	51,6
Castro Alves	Rio das Antas	2004	Sul	6,21	130	1.185,05	6,46
Ilha dos Pombos	Rio Paranaíba do Sul	1924	Sudeste	3,71	187	1.472,22	3,33
Sobradinho	Rio São Francisco	1982	Nordeste	4.380,79	1.050,3	1.795,31	854,82
						1.329,8 - 2.690,4 ***	-
						2.841 **	1436,4 **
Xingó	Rio São Francisco	1994	Nordeste	58,94	3.162	1.789,99	3,81
Itumbiara	Rio Paranaíba	1981	Sudeste	760	2.082	2.239	190,8
Tucuruí	Rio Tocantins	1984	Norte	2.430	8.400	2.378	180
São Simão	Rio Paranaíba	1978	Centro-Oeste	674	1635	2.229	147,6
Marimbondó	Rio Grande	1977	Sudeste	438	1400	2.330	136,8
Jaguari	Rio Jaguari	1973	Sudeste	70	460	1.782	50,4
Três Marias	Rio São Francisco	1962	Sudeste		396	1.253,0 - 1.754,3 ***	-
Camargos ****	Rio Grande	1960	Sudeste	50,5	45	1.382	486,0

Fonte: Próprio autor com base dos dados de *Semertzidis *et al.* (2018) considerando período de dados para estimativa da evaporação de 2010 - 2016, **Mekonnen & Hoekstra (2011) e ***Vieira *et al.* (2016) - UHE Sobradinho: Período dos dados de 1980 – 2012 e métodos de cálculo de evaporação considerados: Tanque Classe A (kp=0,8), Linacre, Penman, Tanque Classe A (kp=0,6), Kohler *et al.*, CRLE, Thornthwaite, Tanque Classe A (kp=0,4). UHE Três Marias: Período dos dados de 2000 – 2002 e métodos de cálculo de evaporação considerados: Linacre, Penman, CRLE, Thornthwaite, Kohler *et al.* **** Bueno *et al.* (2016).

Mekonnen & Hoekstra (2011) estimaram a pegada hídrica de 35 reservatórios distribuídos em todo o mundo, inclusive no Brasil, considerando diferentes condições climáticas, tamanho de reservatório e capacidade instalada. Os autores apontaram como pegada hídrica média global

para geração de energia hidráulica um valor aproximado de 244,8 m³/MWh. Demeke *et al.* (2013) também analisaram a pegada hídrica de vários reservatórios localizados em diferentes áreas climáticas. Os autores encontraram valores variando de 0, 252 m³/MWh (UHE Kaprun na Austrália) até 6.249,9 m³/MWh (UHE Aswan no Egito).

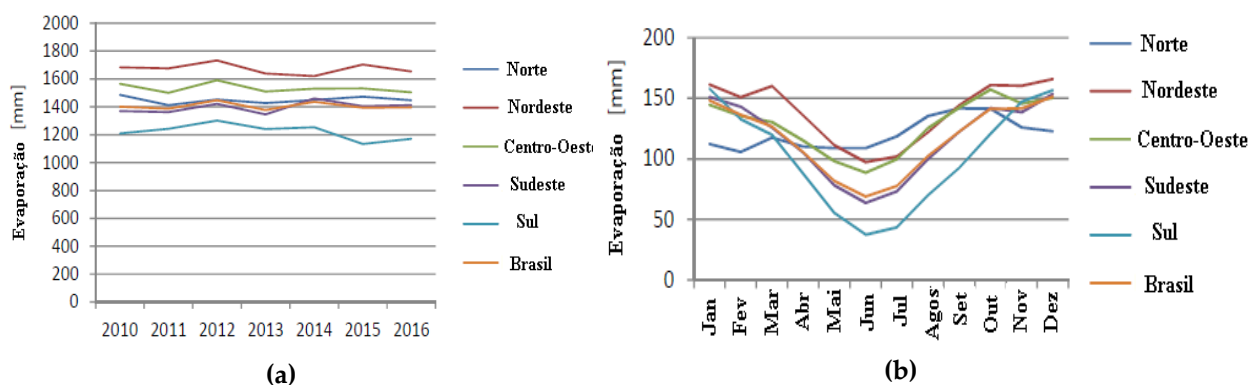
Quanto às taxas de evaporação, diferentes valores podem ser encontrados para um mesmo reservatório a depender do método empregado e do período temporal de dados considerado. Por exemplo, Vieira *et al.* (2016) encontrou valores de evaporação para o reservatório de Sobradinho variando entre 1.329,8 mm/ano utilizando o método Tanque Classe A (kp=0,4) até 2.690,4 mm/ano utilizando o método Tanque Classe A para o mesmo período (1980 a 2012), alterando apenas o coeficiente Kp (coeficiente do tanque, adimensional) para 0,8. Para o caso da UHE de Três Marias, os autores encontraram uma variação entre 1.253,0 mm/ano utilizando o método de Thornthwaite e 1.754,3 mm/ano utilizando o método de Linacre.

Por ser um parâmetro necessário nas estimativas de pegada hídrica, as taxas de evaporação foram encontradas em todos os estudos que contemplaram esse contexto. Os principais parâmetros que interferem nos cálculos são as temperaturas, índice de radiação solar, altitude local, propriedades da água, velocidade do vento, pressão de vapor e declividade (VIEIRA *et al.*, 2016).

A partir dos dados de evaporação apontados na Tabela 23, percebe-se que todas as usinas apresentaram valores acima de 1000 mm/ano, tendo os reservatórios de Marimbondo, São Simão, Tucuruí, Estreito, Itumbiara e Sobradinho os valores mais expressivos. As áreas desses reservatórios variaram de 456 Km² (UHE Estreito) até 4.380,79 Km² (UHE de Sobradinho). Analisando as usinas presentes na Tabela 23, nos estudos de Demeke *et al.* (2013) e Mekonnen & Hoekstra (2011), as UHE que apresentaram as maiores taxas de evaporação foram UHE Aswan no Egito (3000 mm/ano) com 5.250 km² de lâmina d'água e UHE Cahora Bassa em Moçambique/África (3059 mm/ano) com 2.660 km² de lâmina d'água.

A Figura 59 descreve as taxas de evaporação para as regiões geográficas do Brasil. A região Norte apresentou a menor sazonalidade nas médias mensais e anuais para o período considerado (2010 – 2016). A região sul ilustra uma maior discrepância quanto ao valor mínimo alcançado (37 mm) e à máxima (158 mm), além de apresentar os menores valores para a evaporação média. As regiões Nordeste e Centro-Oeste apontam taxas mínimas maior que 85 mm, sendo o Nordeste a região com maior evaporação e o centro-oeste ocupando a segunda posição com um mínimo de 1.500 mm em 2011 e um máximo de 1.590 mm em 2012 (SEMERTZIDIS *et al.*, 2018).

Figura 59: Taxa de evaporação das regiões do Brasil (2010 – 2016)



Fonte: Semertzidis *et al.* (2018). (a) Taxa anual, (b) média mensal considerando todos os anos.

4.3.2.2 Energia para água (Concessionárias de água e esgoto)

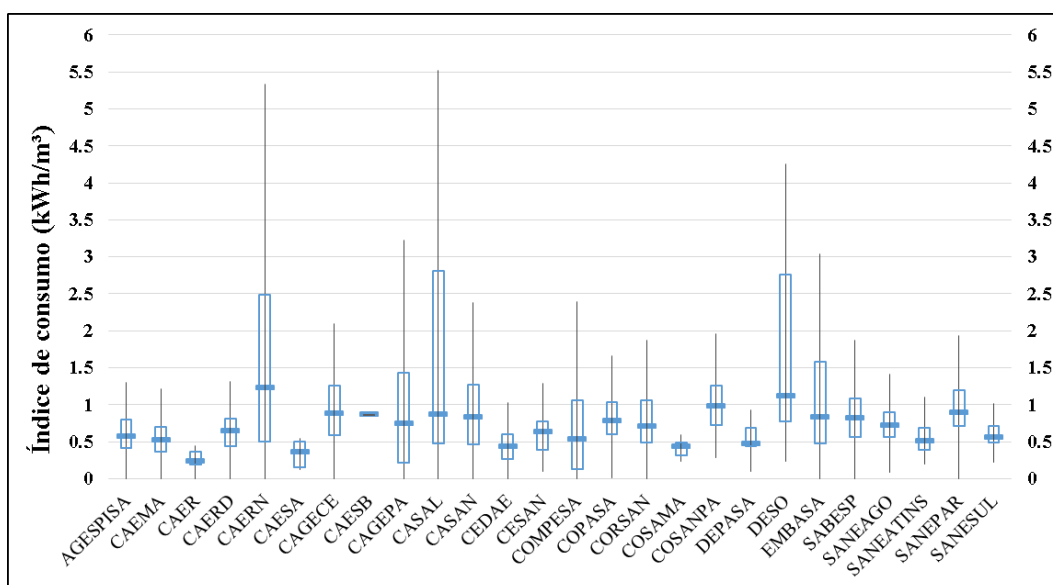
A crescente demanda por água de boa qualidade, tanto superficial quanto subterrânea, necessita de serviços como extração, transporte, tratamento e descarte (YOUNG, 2015; IEA, 2016; WAKEEL *et al.*, 2016; COPELAND & CARTER, 2017). Por sua vez, o descarte de água implica em crescente consumo de energia para coleta e tratamento (WAKEEL *et al.*, 2016). A quantidade de energia consumida em estações de tratamento de água e esgoto varia em função de uma série de fatores, como por exemplo, a topografia, distância dos centros consumidores, perdas de água, ineficiências nos processos, e o nível de tratamento (IEA, 2016; WAKEEL *et al.*, 2016).

No Brasil, segundo os dados do SNIS (2019a), o consumo de energia elétrica no setor de saneamento alcançou 12,6 TWh, composto por 11,3 TWh para abastecimento de água e 1,3 TWh para esgotamento sanitário. Esse consumo equivale a uma despesa com energia elétrica de aproximadamente R\$ 5,26 bilhões para o setor de saneamento (SNIS, 2019a). Nos Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) das concessionárias dos Estados, as despesas com energia elétrica chegam em média, 17,4% das despesas totais de exploração (MOURA, 2010).

Como observado, a maior parcela de consumo de energia concentra-se nos sistemas de abastecimento de água, diferentemente dos países desenvolvidos onde a maior parcela do consumo de eletricidade relacionado à água é usada para o tratamento de águas residuais (IEA, 2016; COPELAND & CARTER, 2017). Isso ocorre porque nos países em desenvolvimento e emergentes, o uso de eletricidade para o tratamento de águas residuais atualmente desempenha um papel menor, já que uma menor parcela delas é coletada e tratada (IEA, 2016; COPELAND & CARTER, 2017).

A Figura 60 apresenta o consumo específico de energia nos sistemas de abastecimento de água e o Quadro 19 traz a descrição dos nomes das respectivas concessionárias Estaduais de água e esgoto.

Figura 60: Consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água das concessionárias brasileiras



Fonte: Próprio autor (Base de dados SNIS - MDR, 2019)

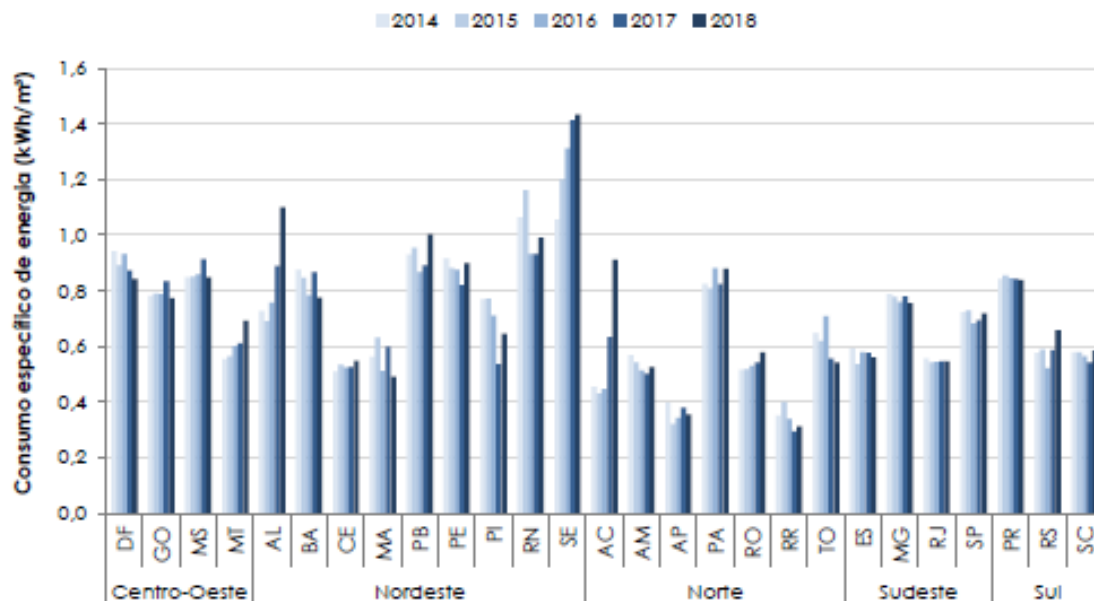
Quadro 19: Companhias Estaduais de saneamento básico do Brasil

Sigla	Nome	Estado
DESO	Companhia de Saneamento de Sergipe	SE
COSANPA	Companhia de Saneamento do Pará	PA
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais	MG
CAER	Companhia de Águas e Esgoto de Roraima	RR
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal	DF
SANESUL	Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul	MS
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná	PR
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento	SC
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará	CE
SANEAGO	Saneamento de Goiás	GO
CAGEPA	Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba	PB
CAESA	Companhia de Água e Esgoto do Amapá	AP
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas	AL
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte	RN
SANEATINS	Companhia de Saneamento do Tocantins	TO
CORSAN	Companhia de Saneamento do Rio Grande do Sul	RS
CAERD	Companhia de Saneamento de Rondônia	RO
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento	PE
EMBASA	Empresa Baiana de Águas e Saneamento	BA
CAEMA	Companhia de Águas e Esgotos do Maranhão	MA
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo	SP
AGESPISA	Águas e Esgotos do Piauí	PI
CESAN	Companhia Espírito-Santense de Saneamento	ES
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos	RJ
COSAMA	Companhia de Saneamento do Amazonas	AM
DEAS	Departamento Estadual de Água e Saneamento	AC

Fonte: Adaptado de Moura (2010).

Para o consumo de energia nos sistemas de abastecimento de água, observa-se que as concessionárias que se destacaram foram a CASAL (Alagoas) com 5,52 kWh/m³, a CAERN (Rio Grande do Norte) com 5,33 kWh/m³, a DESO (Sergipe) com 4,26 kWh/m³, e a EMBASA com 3,04 kWh/m³. Todos eles localizados na região Nordeste do país. A Figura 61 complementa a Figura 60 trazendo a evolução temporal do consumo de energia por Estado. Pode-se perceber que o Nordeste recebe destaque no consumo de energia comparada às outras regiões para os últimos cinco anos, com exceção do Ceará e do Maranhão que apresentaram um menor consumo. Os Estados de menor consumo no período de tempo analisado foram Roraima e Amapá, ambas localizadas na região Norte.

Figura 61: Evolução do consumo específico de energia na produção de água por Estado brasileiro



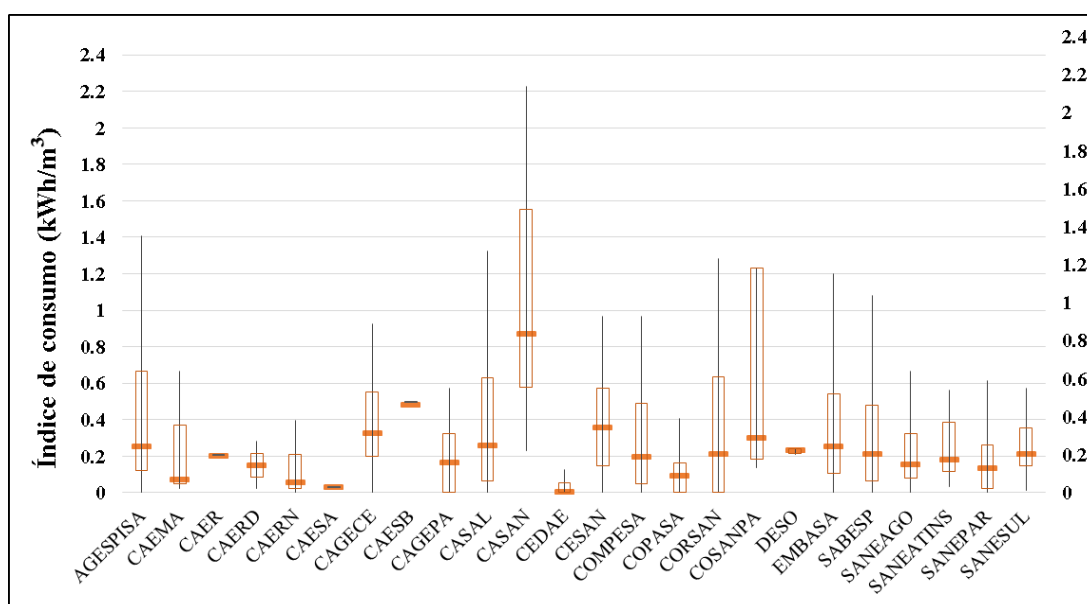
Fonte: SNIS (2019b)

A maior demanda de energia encontrados na região Nordeste do país pode estar associada principalmente à quatro fatores: (a) baixo índice de qualidade da água que tende a demandar maior consumo de reagentes e energia no processo de tratamento; (b) nível tecnológico; (c) topografia e/ou distâncias do manancial de captação às concessionárias de tratamento e da Estação de Tratamento da Água (ETA) ao consumidor final (distribuição), necessitando de maior energia para bombeamento; e (c) maior perda de energia nos processos.

Para Young (2015), o maior consumidor de energia nos sistemas públicos de abastecimento de água é a etapa de bombeamento. Racoviceanu *et al.* (2007) analisaram o sistema municipal de tratamento de água (WTS) da cidade de Toronto, especificamente considerando as etapas de produção química, transporte de materiais e operação da unidade de tratamento. Com base na Análise do Ciclo de Vida (ACV) do sistema, os autores encontraram um consumo de energia entre 2,3 à 2,5 MJ/m³ de água tratada, sendo que os encargos operacionais (60% correspondente ao bombeamento) foi responsável por 94% do uso total de energia e 90% das emissões de GEE, muito superior às demais etapas analisadas. No Brasil, Guanais *et al.* (2017) analisando o Sistema Integrado de Abastecimento de Água de Feira de Santana/BA (SIAA-FSA) encontrou uma demanda energética acumulada de 3,51 kWh/m³ de água consumida. Segundo os autores, as etapas de captação e distribuição apresentaram os maiores consumos de energia, tendo a eletricidade da etapa de bombeamento com 86% da demanda energética do sistema.

Quanto ao consumo de energia nos sistemas de esgotamento sanitário, os principais fatores que influenciam nessa relação são à topografia da região, distância da rede até a ETE, densidade demográfica e da estrutura de esgoto do município (SOARES & GONÇALVES, 2017). A Figura 62 ilustra o consumo de energia nas concessionárias Estaduais do Brasil.

Figura 62: Consumo de energia nos sistemas de esgotamento sanitário das concessionárias brasileiras



Fonte: Próprio autor (Base de dados SNIS - MDR, 2019)

A concessionária CASAN (Santa Catarina), AGESPISA (Piauí) e CORSAN (Santa Catarina) e EMBASA (Bahia) apresentaram os maiores consumos de energia, com aproximadamente 2,14 kWh/m³; 1,35 kWh/m³; 1,23 kWh/m³; 1,15 kWh/m³; respectivamente. As concessionárias CAESA (Amapá) e CEDAE (Rio de Janeiro) apresentaram os valores menos expressivos, abaixo de 0,2 kWh/m³. Outros fatores de grande interesse para averiguar o consumo de energia nesses segmentos é o índice de coleta, tratamento de esgoto associado à tecnologia utilizada. O Quadro 20 traz a relação do índice de coleta e tratamento dos esgotos por região geográfica.

Quadro 20: Relação da porcentagem de coleta e tratamento dos esgotos no Brasil por região geográfica

Região geográfica	Número de municípios	População urbana (em mil hab.)	Parcela da população atendida		Parcela tratada em relação à coletada (%)
			Coleta de esgoto (%)	Tratamento de esgoto (%)	
Norte	450	12.667,4	16%	12%	75%
Nordeste	1.794	40.817,4	43%	32%	74%
Sul	1.191	24.432,1	54%	40%	75%
Sudeste	1.668	77.285,0	83%	54%	65%
Centro-Oeste	467	13.283,8	51%	49%	97%

Fonte: Adaptado ANA (2017b)

Analisando os Estados que apresentaram os maiores índices de coleta e tratamento de esgoto por região do país, é possível apontar na parte Norte, o Estado do Acre, com 35% destinados para coleta de esgoto e 33% destinados ao tratamento (ANA, 2017b). No Nordeste, destacam-se os Estados da Bahia (63% coleta e 51% para tratamento) e Ceará (44% para coleta e 40% para tratamento); no Sudeste, estão presentes os Estados com maior índice de coleta e tratamento de esgoto, São Paulo (87% para coleta e 64% para tratamento) e Minas Gerais (86% para coleta e 44% para tratamento); no Sul, o Estado do Paraná (65% para coleta e 64% para tratamento) e Rio Grande do Sul (54% para coleta e 26% para tratamento) são os destaques; e no Centro-Oeste, ressaltam o Distrito Federal (83% para coleta e 83% para tratamento) e Goiás (50% para coleta e 48% para tratamento) (ANA, 2017b).

Em termos gerais, a parcela da população total urbana no Brasil atendida com coleta e tratamento dos esgotos representa 42,6%, sendo a região do Sudeste com o maior índice de

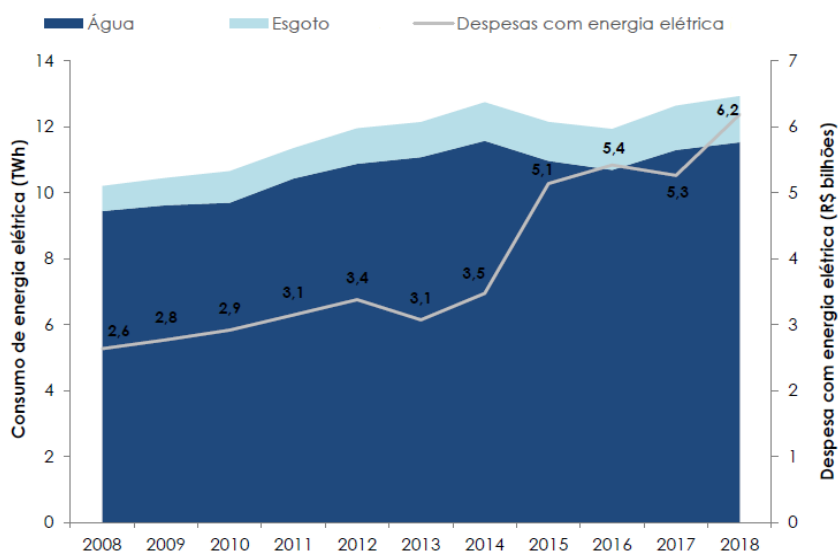
coleta e tratamento e a região Norte e Nordeste apresentando os menores índices (ANA, 2017b; SNIS, 2019b). Mudanças deste panorama pode ser alcançado a partir da definição de uma maior prioridade para o setor de saneamento por parte do poder público, investindo de forma eficaz em uma infraestrutura consistente.

A Figura 63 apresenta um resumo da evolução temporal (2008 – 2018) do consumo de energia elétrica nos segmentos de água e esgoto. Importante ressaltar que as concessionárias que expressaram maior consumo de energia nos sistemas de esgotamento sanitário (Figura 61) não foram os Estados que apresentaram maior índice de coleta e tratamento de esgoto (Quadro 20). Por exemplo, o Estado de Santa Catarina que detêm 33% para coleta e 24% para tratamento dos esgotos, apesar de não ser o Estado com maior índice, apresentou o maior consumo de energia neste segmento, segundo dados do SNIS (2019a). O mesmo ocorre para os Estados de Alagoas e Pará. Este fator pode estar associado à questões como topografia, distâncias dos pontos coletores às Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), tecnologia utilizada no tratamento, e/ou o nível de participação das concessionárias Estaduais na coleta e tratamento dos esgotos.

No Brasil, os prestadores de serviço de esgotamento sanitário podem ser divididos em quatro tipos (ANA, 2017b): (a) companhias Estaduais; (b) autarquias municipais; (c) concessionárias privadas; e (d) sem serviço institucionalizado. A região Norte possui 86% do setor de esgotamento sanitário caracterizado como sem serviço institucionalizado, seguido pela região Centro-Oeste com 59%, Sudeste com 44%, Nordeste, 42% e sul com 37%. A região que possui a maior participação das companhias Estaduais são Sul (55%), Nordeste (52%) e Sudeste (40%).

Analisando a maior participação das companhias Estaduais nesses Estados, pode-se justificar o maior índice de consumo de energia encontrado em Santa Catarina e outros Estados que cobrem a região Sul e Nordeste.

Figura 63: Despesas com energia elétrica nos sistemas de água e esgoto no Brasil



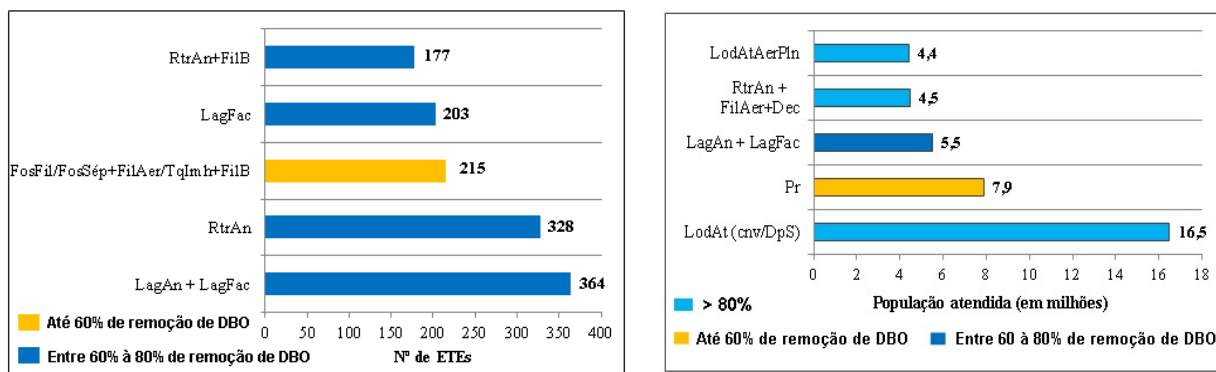
Fonte: SNIS (2019b)

Conforme ilustra na Figura 63, no período analisado, observa-se um aumento gradativo no consumo de energia pelas concessionárias de água e esgoto, tendo uma acentuada queda nos anos de 2013 e 2017, provavelmente em função do período de crise hídrica que alcançou diversas regiões do país, o que acarretou na racionalização no consumo de água e energia (SNIS, 2019a), especialmente nas regiões Sudeste e Nordeste. Neste período, pôde-se

observar uma pequena evolução nas discussões pautadas para a necessidade em avançar na cobertura de tratamento de esgoto visando aumentar a disponibilidade hídrica local, uma vez que a maior parte das bacias hidrográficas urbanas se encontram com alto grau de poluição. Quanto maior o grau de poluição, maiores tendem a ser os gastos com energia e outros insumos para realizar o seu tratamento.

A Figura 64 traz a relação dos principais tipos de tratamento de esgoto praticados no Brasil por número de ETE e por população atendida. De acordo com a ANA (2017b), o país possui 3.978 municípios sem ETE e 1.592 municípios com ETE. As tecnologias mais utilizadas nas ETEs são o sistema conhecido como australiano, lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa (LagAn+LagFac) com 364 unidades, tendo predominância na região Sudeste do país, seguido por Reator Anaeróbio (RtrAn) com 328 unidades, tendo predominância nas regiões Nordeste, Sul e Centro-Oeste. Analisando as tecnologias de tratamento por população atendida, Lodos Ativados - Convencional/Deep Shaft (LodAt - cnv/DpS) possui a maior cobertura, com atendimento médio para 16,5 milhões de pessoas, seguido pelo tratamento Primário (Pr) com 7,9 milhões de pessoas atendidas.

Figura 64: Processos de tratamento mais utilizados por número de ETE e por população atendida



Fonte: Próprio autor (Base de dados da ANA, 2017b). (a) Estimativa por número de ETE; (b) Estimativa por população atendida. Lagoa Anaeróbia (LagAn); Lagoa Facultativa (LagFac); Reator Anaeróbio (RtrAn); Fossa Filtro/Fossa Séptica + Filtro Aeróbio/Tanque Imhoff + Filtro Biológico (FosFil/FosSép+FilAer/TqImh+FilB); Reator Anaeróbio + Filtro Biológico (RtrAn+FilB); Lodos Ativados de Aeração Prolongada (LodAtAerPln); Lodos Ativados - Convencional/Deep Shaft (LodAt (cnv/DpS); Tratamento Primário (Pr); Reator Anaeróbio + Filtro Aeróbio + Decantador (RtrAn + FilAer+Dec)

As tecnologias de tratamento de esgoto apresentadas na Figura 64 (a) possuem baixa demanda de energia (OLIVEIRA, 2004; VON SPERLING, 2016) comparadas às tecnologias apontadas na Figura 64 (b). Isso ocorre especialmente porque as ETEs que não utilizam aeradores em seus processos decaem significativamente o consumo de energia no segmento (VON SPERLING, 2016). Por exemplo, lodos ativados convencional (idade do lodo, menor que 3 dias) chega a consumir entre 10 a 15 kWh/hab.ano, lodo ativado por aeração prolongada (idade do lodo, entre 18 à 30 dias) entre 33 a 37 kWh/hab.ano e lagoa aerada de mistura completa consome entre 20 à 24 kWh/hab.ano (JORDÃO, 2008). Nos Estados Unidos, o tratamento convencional por lodo ativado consome em média 0,33 à 0,60 kW h/m³ de esgoto tratado, na China o valor correspondente à 0,269 kW h/m³ para o mesmo tratamento, e no Japão 0,3 – 1,89 kW h/m³ (WAKEEL *et al.*, 2016). Na Austrália, tratamentos avançados de águas residuais consomem em média 0,8 à 1,5 kWh/m³ (MARSH, 2008).

Arranjos de ETE constituído por reatores UASB com pós-tratamento tem se tornado atraentes em função da redução no consumo de energia comparado aos tratamentos de lodo ativado convencional e também devido a possibilidade de produção de biogás nesses reatores

através do aproveitamento do gás metano (JORDÃO, 2008). O próprio biogás gerado pode ser utilizado na ETE para atender às suas demandas energéticas. Um sistema de Reatores UASB seguido por lodo ativado por exemplo, possui um consumo estimado em aproximadamente 15 kWh/hab.ano na etapa de aeração (JORDÃO, 2008).

Para o USDOE (2017), no tratamento primário a etapa de bombeamento é o maior usuário de energia. A Tabela 24 apresenta um resumo do consumo de energia nos sistemas de água e esgoto para alguns países. Nas etapas do processo, apresentada na tabela 24, onde não foram inseridos dados específicos para o Brasil ocorreu em função da falta de informações.

Pode-se perceber que na etapa de captação e distribuição em sistemas de abastecimento de água, o Brasil apresenta um valor superior à média mundial, tanto para água superficial quanto subterrânea.

Tabela 24: Consumo de energia para algumas etapas presentes em sistemas de água e esgoto

Etapas do processo	País	Consumo (kWh/m³)	Fonte
Captação e transporte (sistema de abastecimento de água)	Média mundial (água superficial)	0,0002 - 1,74	Wakeel <i>et al.</i> (2016), Vilanova & Balestieri (2015)
	Média mundial (água subterrânea)	0,36 - 0,47	
	Norte da Califórnia	0,04	
	Brasil (sistema misto)	0,25 - 4,5	
Distribuição (sistema de abastecimento de água)	Alemanha	1,71	Wakeel <i>et al.</i> (2016)
	Índia	0,3	
	Canadá	0,68	
	Norte da Califórnia	0,32	
	África do Sul	0,10	
Abastecimento (captação, tratamento convencional e distribuição de água)	Média mundial (água superficial)	0,37	Wakeel <i>et al.</i> (2016), Vilanova & Balestieri (2015)
	Média mundial (água subterrânea)	0,48	
	Brasil	0,862	
Coleta de esgoto	Média mundial	0,022 - 0,042	Wakeel <i>et al.</i> (2016)
	Norte da Califórnia	0,71	
Tratamento de águas residuais	Alemanha	0,67	Wakeel <i>et al.</i> (2016)
	Reino Unido	0,64	
	Estados Unidos	0,177 – 0,780	
	Espanha	0,53	
	Singapura	0,56	
	China	0,25	
Média mundial	0,38 – 1,122		

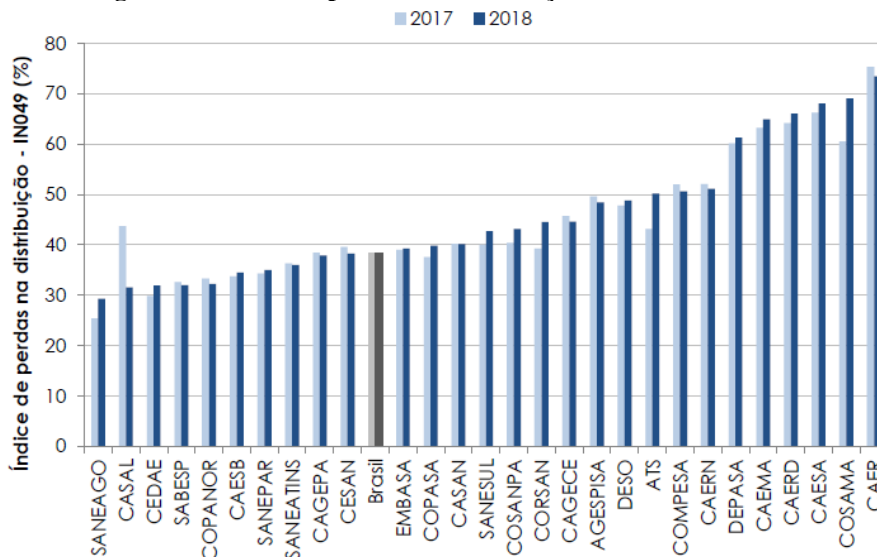
Fonte: Próprio autor

Além do consumo de energia inserida nas tecnologias de tratamento, deve-se mencionar as perdas de energia devido a ineficiência dos sistemas de coleta, tratamento e distribuição de água e coleta e tratamento de esgoto. Isso constitui maior custo para as concessionárias e para os próprios usuários pelo pagamento de taxas e tarifas (SNIS, 2019b). Essas perdas implicam em intensificação das emissões de gases e interferências na disponibilidade de energia.

Vilanova & Balestieri (2015) relatam que quase 30% da energia utilizada nos sistemas de abastecimento de água foi desperdiçado nas concessionárias brasileiras no ano de 2012, especialmente na etapa de distribuição. A Figura 65 apresenta o índice de perdas na distribuição das concessionárias de água e esgoto para os anos de 2017 e 2018. As concessionárias CAER (Roraima), COSAMA (Amazônas) e CAESA (Amapá) apresentaram

os maiores índices de perda do ano de 2018. Já as concessionárias SANEAGO (Goiás), CASAL (Alagoas), CEDAE (Rio de Janeiro) e SABESP (São Paulo) se destacaram com os menores índices de perda no ano de 2018.

Figura 65: Índice de perdas na distribuição das concessionárias



Fonte: SNIS (2019b)

Jordão (2018) apresenta recomendações para redução do consumo de energia em ETE, dentre elas incluem: auditoria de energia em ETEs; identificação dos fluxos de energia nos processos visando apontar as etapas de maior consumo; monitoramento continuado da concentração de oxigênio dissolvido nos tanques de aeração; manutenção em bombas e sopradores/compressores; dentre outros.

4.3.2.3 Água e energia no setor de agricultura irrigada

O consumo de água e energia variam em função do manejo aplicado, método de irrigação, tipo de cultura, disponibilidade hídrica e nível tecnológico associado aos demais aspectos. A partir dos dados apresentados sobre o setor agrícola brasileiro (seção 4.3.1.3), esta seção tem por finalidade apresentar as relações entre consumo de água e energia na agricultura irrigada. Para isso, foram utilizados como suporte o “Atlas de irrigação – usos da água na agricultura irrigada” (ANA, 2017), o “Manual de usos consuntivos da água no Brasil” (ANA, 2019), bases de dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH), “Coeficientes técnicos de uso da água” (ANA, 2019c), Censo Agropecuário (IBGE, 2017), cadastro de outorgas da ANA e outras produções técnica-científica (HERNANDES *et al.*, 2013; SILVA *et al.*, 2016; CLASSE *et al.*, 2017; CAIXETA, 2019). Visto isso, as variáveis a serem analisadas correspondem aos sistemas de irrigação por estarem relacionados com o consumo de água e energia e suas eficiências no setor e os coeficientes de cultura (Kc) por representar às necessidades hídricas das plantas.

Sistemas de irrigação

Irrigação consiste em “técnicas, formas ou meios utilizados para aplicar água artificialmente às plantas, procurando satisfazer suas necessidades e visando a produção ideal para o seu usuário” (TESTEZLAF, 2017). A irrigação é um complemento de água necessário à produção (CARMO *et al.*, 2008). Em regiões semiáridas, por exemplo, a irrigação é essencial para a segurança produtiva agrícola em função do longo período de escassez presente nessas

localidades que é minimizado durante o período úmido, entre dezembro e março (ANA, 2017).

Para Lima *et al.* (1999), a prática da irrigação configura uma ação estratégica para aumentar os processos agrícolas tanto para atender ao mercado interno quanto para consolidar o mercado internacional altamente competitivo, além de proporcionar melhorias na produtividade e renda da população rural e outros setores econômicos que estão vinculados às atividades da agricultura irrigada.

Logo, os métodos de irrigação correspondem a um dos principais fatores de sucesso para a expansão das áreas agrícola. Esses métodos são agrupados de acordo com a forma que cada um deles conduz a aplicação de água nas culturas, podendo destacar quatro tipos principais (Tabela 25): irrigação por superfície; subterrâneo, localizado e aspersão (ANA, 2017). Eficiência hídrica na irrigação pode ser conceituada como “a relação entre a quantidade de água requerida pela cultura e a quantidade total aplicada pelo sistema para suprir essa necessidade” (LIMA *et al.*, 1999). Quanto maior a eficiência, menores são as perdas por evaporação, escoamento superficial e drenagem profunda (LIMA *et al.*, 1999).

Tabela 25: Caracterização dos métodos de irrigação

Método	Descrição	Exemplos	Eficiência*	Perdas*
Superfície	A água é aplicada sobre a folhagem da cultura e acima do solo (na forma de chuva)	Sulcos abertos	65	35
		Sulcos fechados ou interligados em bacias	75	25
		Inundação	60	40
Aspersão	Quando se utiliza a superfície do solo de forma parcial ou total para a aplicação da água por ação da gravidade (como a enxurrada)	Convencional com linhas laterais ou malha	80	20
		Mangueiras perfuradas	85	15
		Canhão autopropelido/Carretel enrolador	80	20
		Pivô central (fixo ou rebocável)	85	15
		Linear	90	10
Localizada	A aplicação da água é realizada em uma área limitada da superfície do solo, preferencialmente dentro da área sombreada pela copa das plantas	Gotejamento	95	5
		Microaspersão	90	10
Subterrâneo	A água é aplicada abaixo da superfície do solo, dentro do volume explorado pelas raízes das plantas	Gotejamento Subterrâneo	95	5
		Elevação do lençol freático	60	40

Fonte: Próprio autor com base em Testezlaf (2017) e * ANA (2019f)

Nem todo método de irrigação é adequado para todas as culturas e localidades. A irrigação por superfície não é adequada para terrenos com alta infiltração e declividade acentuada; o método por aspersão não é interessante em áreas com alta incidência de ventos fortes, e os métodos localizados não são adequados para culturas temporárias (milho, feijão, arroz, soja) e requerem uma boa qualidade da água (ANA, 2017d).

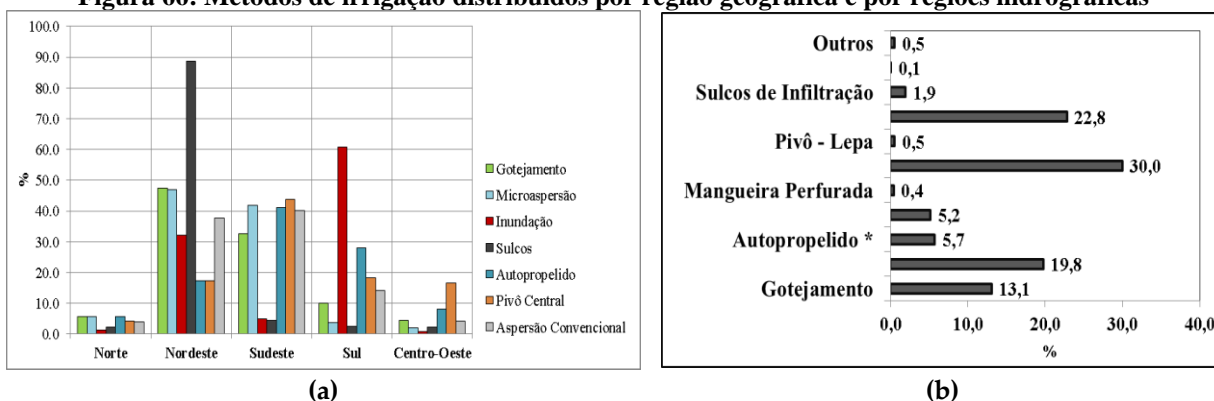
Outros fatores que devem ser investigados são o consumo de água (eficiência hídrica – tabela 25) e energia necessárias para funcionamento desses sistemas. O método localizado, por exemplo, apesar de apresentar um menor consumo de água e maior eficiência na sua

distribuição, exibe uma maior demanda de energia, em média de 0,1 a 0,4 kWh/m³ (MAROUELLI *et al.*, 1994 *apud* MANTOVANI *et al.*, 2004). Já o método de superfície, apesar de possuir um baixo consumo de energia (TESTEZLAF, 2017), em média de 0,03 a 0,3 kWh/m³ (MAROUELLI *et al.*, 1994 *apud* MANTOVANI *et al.*, 2004) e altas perdas de água no processo (25 à 40%), possui uma baixa eficiência hídrica. Semelhante a demanda de energia do sistema localizado, o método de aspersão alcança até 0,6 kWh/m³ (MAROUELLI *et al.*, 1994 *apud* MANTOVANI *et al.*, 2004), possui potencialmente maior eficiência na distribuição de água, comparada ao método de superfície, com menores perdas no sistema (5 à 20%) porém, consome um maior volume de água, comparado ao método localizado (TESTEZLAF, 2017).

Para Ahmad & Khan (2016), comparado ao sistema de irrigação por sulco (superfície), um sistema de gotejamento pressurizado alcança uma economia média de água de 2,98 ml/ha tendo um gasto adicional de energia de aproximadamente 146 kWh/ha, enquanto para um sistema *sprinklers* (aspersão), ao analisar o mesmo comparativo, alcança uma economia de água em média de 1,19 ml/ha tendo um gasto adicional de energia de aproximadamente 353 kWh/ha. Visto isso, percebe-se que a modernização agrícola requer quantidades significativas de insumos energéticos, porém, é um fator altamente necessário para suprir as demandas da população crescente (AHMAD & KHAN, 2016). Segundo Bruning (2018), os maiores gastos com energia em sistemas de irrigação são decorrentes de problemas nos sistemas de bombeamento de baixo rendimento, excesso de perdas de carga em linhas adutoras, baixa eficiência em equipamentos hidráulicos, dentre outros.

No Brasil, o cadastro de outorgas da ANA traz a relação dos tipos de sistemas de irrigação por região hidrográfica e suas respectivas captações de água. De forma semelhante, o Censo Agropecuário também apresenta o levantamento desses sistemas por região geográfica. A Figura 66 ilustra os sistemas de irrigação presentes no Brasil a partir das informações relatadas nas duas bases de dados mencionadas.

Figura 66: Métodos de irrigação distribuídos por região geográfica e por regiões hidrográficas



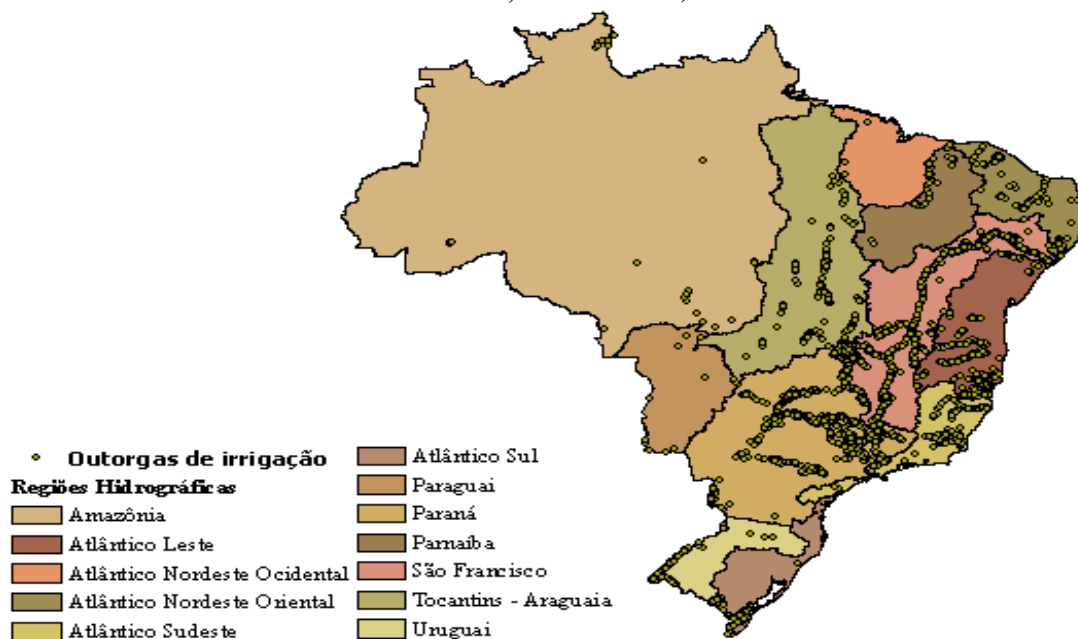
Fonte: Próprio autor. (a) Com base nos dados do Censo Agro 2017; (b) Com base no cadastro de outorga da ANA considerando as regiões hidrográficas.* Esse sistema de irrigação se caracteriza por apresentar um único aspersor do tipo canhão montado sobre um veículo suporte, que se desloca ao longo do terreno por ação hidráulica, enquanto distribui a água de irrigação.

Segundo dados do Censo Agro (2017), existem no Brasil 505.503 unidades de estabelecimentos agropecuários com uso de sistemas de irrigação, tendo a maior concentração na região Nordeste (45,5%) seguido pelas regiões Sudeste (32,1%), Sul (11,7%), Norte (7,1%), e Centro-Oeste (3,6%). Os dados do Censo Agro (2017) apontam um total de 47,4 % unidades de estabelecimentos agropecuários que utilizam o método de irrigação localizada (gotejamento) estando estabelecidos no Nordeste, seguido pelo Sudeste com 32,5%; para o

método de irrigação localizada (microaspersão) predomina também as regiões Nordeste (46,9%) e Sudeste (41,9%). Quanto à irrigação por superfície, a categoria de inundação, destaca-se a região Sul com 60,7% dos estabelecimentos agrícolas, e a categoria de sulco sobressai no Nordeste com 88,6%. Enquanto irrigação por aspersão, tem a região do Sudeste com a maior participação, tendo aspersão por autopropelido/carretel enrolador com 41%, aspersão convencional com aproximadamente 40% e pivô central com 43,7%.

Pelos dados presentes no cadastro de outorga, pode-se perceber que o método de microaspersão (localizada) equivale a 30% de participação na produção agrícola nas regiões hidrográficas, seguido por pivô-central (aspersão) com 22,8% e aspersão convencional com 19,8%. A Figura 67 ilustra a localização dos pontos de captação de água cadastrados na ANA.

Figura 67: Outorgas de irrigação distribuídas nas regiões hidrográficas do Brasil (ano base *shapefile* 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



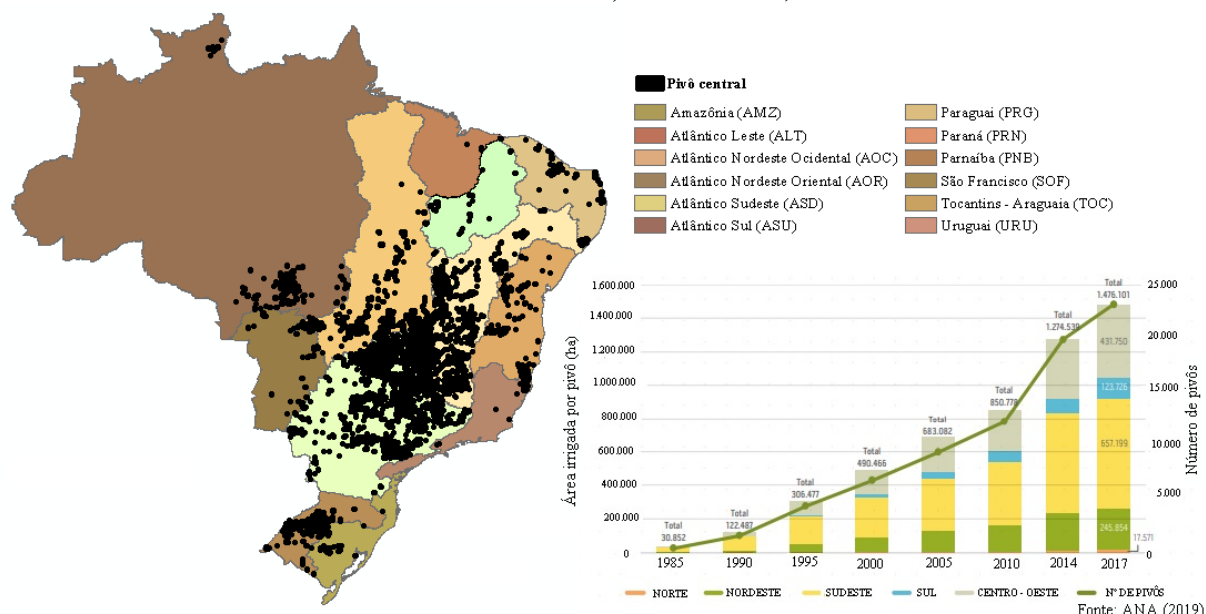
Fonte: Próprio autor (Base de dados do cadastro de outorga da ANA, 2017)

Existe uma concentração das captações de água nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul do país. Nessas regiões, as bacias hidrográficas que apresentaram maior captação de água para irrigação foram à bacia do Uruguai (88%), Parnaíba (86%), São Francisco (82%), Atlântico Sul (77,8%) e Atlântico Leste (66%) (Seção 4.3.1.1, Tabela 18). Analisando as captações de água por Estado brasileiro, o Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Bahia, São Paulo e Goiás se destacaram (ANA, 2019i).

Enfatizando a Bacia Hidrográfica do rio São Francisco (BHSF), destaca-se a expansão da agroindústria no Oeste baiano. A EMBRAPA no ano de 2002 já relatava uma mudança no uso da terra da região do Oeste da Bahia, que tradicionalmente era ocupada pela pecuária extensiva e foi substituída pela atividade agrícola. Nesta região houve uma expansão de 86% da agropecuária no ano 2000 comparada à área ocupada no ano de 1985 (EMBRAPA, 2002). A intensificação das atividades agrícolas no Oeste da Bahia ocorreu predominantemente no cerrado e seu desenvolvimento foi garantido em função dos avanços tecnológicos (agropecuária moderna) aplicados nas áreas de produção, em especial, o emprego de técnicas de melhoramento genético de sementes, métodos de irrigação e uma forte mecanização, ambos de forma integrada (EMBRAPA, 2002; RAMINA, 2014). O método de irrigação por

pivô central vem crescendo progressivamente nos últimos anos, em especial, no Sudeste (incluindo a região do alto, médio e sub-médio da BHSF) e Centro-Oeste (Figura 68).

Figura 68: Mapeamento da Agricultura Irrigada do Brasil por Pivôs Centrais (ano base *shapefile* 2017, Datum Geodésico, SIRGAS 2000)



Fonte: Próprio autor (Base de metadados da ANA e ANA, 2019)

Cerca de 90% dos pivôs concentram-se nos Estados de Minas Gerais (5.573 pivôs, 366.428 ha irrigados), São Paulo (3.528 pivôs, 168.674 ha), Goiás (2.872 pivôs, 210.724 ha irrigados), Bahia (2.792 pivôs, 192.223 ha irrigados) e Rio Grande do Sul (1.111 pivôs, 76.081 ha irrigados). Aproximadamente 45% dos pivôs centrais do Brasil concentram-se na Bacia Hidrográfica do Rio Paraná; e quase 30% na do Rio São Francisco (EMBRAPA, 2014a). A ANA (2019i) acrescenta que os três principais municípios irrigantes dessas regiões concentram-se em: Unaí e Paracatu, em Minas Gerais e Cristalina, em Goiás. Eles juntos formam a maior concentração de pivôs do Brasil (2.558) ocupando 191 mil hectares (ANA, 2019i).

Consumo de água por tipo de cultura

A demanda de água por tipo de cultura foi analisado com base nos dados apresentados em trabalhos técnicos-científicos e no coeficiente de cultura (K_c) estimados pela ANA (2019f). O coeficiente de cultura representa a demanda de água para cada tipo de planta, variando em função de seu ciclo de crescimento (ANA, 2013). Quanto maior o K_c , maior é a demanda por água (ANA, 2013). A ANA (2019f) quantificou essas demandas através do balanço hídrico nas áreas potencialmente irrigadas, considerando especialmente três parâmetros:

- **Clima:** Informa qual a demanda de água da chuva para as culturas e qual a evapotranspiração (evaporação da superfície do solo, da vegetação e a transpiração das plantas) da região.
- **Tipo de cultura:** Cada cultura necessita de uma quantidade específica de água para cada estágio de seu desenvolvimento visando atender seus processos fisiológicos.
- **Sistema de irrigação:** Utilizado para estimar as perdas de água entre o volume de água captado e o volume de água utilizado em função da sua eficiência.

As eficiências dos sistemas de irrigação estão expostas na Tabela 25 e a demanda de água por cultura está ilustrada na Tabela 26.

Tabela 26: Consumo de água, consumo de energia e coeficiente de cultura para algumas culturas

Cultura	*Consumo de água por área (m ³ /ha)	**Água virtual bruta Exportação (10 ⁶ m ³ /ano) 1997 - 2012	**Água virtual bruta Importação (10 ⁶ m ³ /ano) 1997 - 2012	***Coeficiente de cultura (Kc médio) - 2019	****Demanda específica de água por produção (m ³ /ton) – 1999
Legumes	-	3,1	0,01	-	273
Cebola	5.348	1,2	40	1,05	220 - 528
Alho	4.870	0,23	62	1,05	-
Tomate	5.900	0,61	0,04	1,15	954
Laranja	-	21	1,4	1,2	-
Maçã	-	22	74	1,0	-
Pera	-	0,01	87	1,0	-
Banana	-	166	0,01	1,2	483
Café	-	19,519	4,9	0,95	-
Milho	6.057	6462	763	1,2	1261
Trigo	3.640	847	7678	1,15	1706
Arroz	19.862	967	1865	1,2	2720
Feijão	4.573	49	592	1,15	5846
Batata	6.176	0,42	4,5	1,15	305
Uva	10.624	14	23	0,85	485
Algodão	5.208	-	-	1,18	3095
Fruticultura	9.679	-	-	-	-
Hortaliças	10.288	-	-	-	-
Melancia	11.729	-	-	1,0	-
Melão	11.896	-	-	0,85	596
Soja	2.824	-	-	1,15	2244
Cana-de-açúcar	-	14.403	0,01	1,25	209
Manga	-	-	-	1,0	1878
Pastagem	-	-	-	1,05	-
Capim	-	-	-	1,0	-

Fonte: Próprio autor com base em *Lima *et al.* (1999), ** Silva *et al.* (2016), ***ANA (2019f) e ****Carmo *et al.* (2008)

A Tabela 26 também traz o consumo de água virtual inerente em cada cultura. Deve-se ressaltar que para algumas culturas não foram encontrados os quantitativos das variáveis em análise. Nas inter-relações nexus água-energia-agricultura a quantificação da água virtual também deve ser considerada em função do Brasil ser o líder mundial na produção e exportação de produtos agropecuários (SILVA *et al.*, 2016), conseqüentemente, o maior exportador líquido de água virtual do mundo (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2012).

Considerando o consumo de água por área produtiva, observa-se que o arroz (19.862 m³/ha) seguido pelo melão (11.896 m³/ha), melancia (11.729 m³/ha), hortaliças (10.288 m³/ha) e uva (10.624 m³/ha) possuem os valores mais expressivos da relação de culturas levantadas. Já no caso da água virtual exportada, as culturas que se destacaram foram a cana-de-açúcar (14.403 10⁶ m³/ano), café (19,519 10⁶ m³/ano), milho (6462 10⁶ m³/ano), arroz (967 10⁶ m³/ano) e trigo (847 10⁶ m³/ano), enquanto para água virtual para importação ressalta-se o trigo (7678 10⁶ m³/ano), arroz (1865 10⁶ m³/ano), feijão (592 10⁶ m³/ano) e milho (763 10⁶ m³/ano). Outros produtos que possuem valores expressivos na água virtual exportada, porém não estão

apresentados na tabela, são provenientes da pecuária, como a carne de frango ($10.364 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$), carne de boi ($11,745 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) e carne de porco ($2459 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$) (SILVA *et al.* 2016).

As estimativas de consumo de água no setor agrícola também foram abordados por: Rocha & Christofidis (2014) onde relatam que para irrigar 1 ha são necessários 10.197 m^3 de água. Fachinelli (2013), a partir da análise da pegada hídrica na produção de cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Paranaíba, aponta um consumo de 251 m^3 de água por tonelada de cana-de-açúcar produzida. Enquanto que para Carmo *et al.* (2008), para consumir 1 tonelada de cana-de-açúcar são necessários 209 m^3 de água (Tabela 26), 41 m^3 a menos que o valor descrito por Fachinelli (2013). Rocha *et al.* (2015) acrescentam que para produzir 1 litro de etanol, a partir da cana-de-açúcar, são necessários 2.516 litros de água e para produzir 1 litro de biodiesel de soja ou colza são necessários em média 14.000 litros de água (MCMAHON & PRICE, 2011). McMahon & Price (2011) complementam relatando que o consumo de água na produção de etanol está associado a diferentes etapas do processo produtivo. No caso do Brasil, as etapas de lavagem da cana consome 5.330 L por tonelada métrica de cana-de-açúcar; a etapa de extração/moagem consome 400 L; tratamento do suco, 360 L; concentração do suco, 30 L; geração de energia elétrica, 700 L; fermentação, 4.000 L; destilaria, 4.000 L; e outras etapas, 800 L (MCMAHON & PRICE, 2011).

Gerbens-Leenes *et al.* (2009) através do cálculo da pegada hídrica de quinze culturas de biomassa para quatro países, incluindo o Brasil, apontaram as cinco biomassas de maior consumo de água no Brasil, sendo eles o algodão ($1710 \text{ m}^3/\text{ton}$), amêndoas ($1502 \text{ m}^3/\text{ton}$), oleaginosas ($1460 \text{ m}^3/\text{ton}$), trigo ($1360 \text{ m}^3/\text{ton}$) e girassol ($972 \text{ m}^3/\text{ton}$). Carmo *et al.* (2008) traz um valor muito superior para o consumo de água na produção de algodão e trigo, $3095 \text{ m}^3/\text{ton}$ e $1706 \text{ m}^3/\text{ton}$, respectivamente. As diferenças nos valores podem estar relacionados às formas de produção que envolvem o manejo agrícola e o nível tecnológico do processo produtivo.

Consumo de energia

O consumo de energia no setor agrícola está vinculado ao balanço energético de sistemas produtivos que permite identificar as entradas e saídas de energia em seus processos (MELO *et al.*, 2007). As principais variáveis de interferência neste balanço remetem aos sistemas de irrigação, maquinários, fertilizantes e químicos utilizados na produção. Essas estimativas foram realizadas por Veiga *et al.* (2015) para 23 culturas no Brasil considerando dois tipos de fluxos de materiais: (a) insumos aplicados diretamente no solo como fertilizantes, sementes e químicos. Todos eles carregam quantidades de energia para o processo produtivo. Por exemplo, Herbicida possui $454,2 \text{ MJ}$ de energia incorporada, enquanto inseticidas e outros produtos químicos possuem $184,7 \text{ MJ}$ de energia incorporada; e (b) insumos aplicados indiretamente através da utilização de maquinários e força de trabalho. Os resultados encontrados pelos autores estão expostos na Tabela 27.

Tabela 27: Energia direta e indireta consumida para algumas culturas no Brasil

Tipo de cultura	Entradas indiretas*								Entradas diretas*					
	Diesel		Máquinas		Trabalho		Eletricidade		Fertilizantes		Sementes		Produtos químicos	
	GJ/ha	%	GJ/ha	%	GJ/ha	%	GJ/ha	%	GJ/ha	%	GJ/ha	%	GJ/ha	%
Milho	2,05	13	0,29	2	<0,01	0,0	-	-	8,75	56	0,41	3	3,99	26
Mandioca	3,24	29	0,61	6	0,97	0,09	-	-	4,96	45	1,05	9	0,21	2
Batata	7,03	9	1,31	2	0,18	0,0	5,30	7	16,09	20	26,52	33	25,04	31
Arroz	6,02	36	1,15	7	0,10	0,0	-	-	5,29	32	3,06	18	0,93	6
Trigo	1,93	14	0,46	3	<0,01	0,00	-	-	4,70	35	2,98	22	3,41	25
Feijão	2,67	14	0,55	3	0,11	1	-	-	9,38	50	1,12	6	4,91	26
Algodão	4,43	18	0,61	2	0,08	0 0	-	-	13,62	56	0,27	1	5,51	22
Eucalipto	20,40	56	1,90	5	0,50	1	-	-	10,00	28	0,70	2	2,70	7
Café	8,12	15	1,63	3	0,08	0 0	-	-	39,34	71	0,23	0 0	6,37	11
Cana de açúcar	4,72	42	0,96	8	0,07	1	-	-	4,12	36	0,08	1	1,36	12
Mamona**	0,69	24	0,16	5	0,31	11	-	-	1,67	57	0,10	3	0	0
Amendoim	3,31	35	0,48	5	0,02	0,00	-	-	2,74	29	1,37	15	1,53	16
Girassol	1,57	19	0,09	1	0,02	0,00	-	-	5,31	63	0,06	1	1,33	16
Palma	0,71	11	0,03	0	0,40	6	-	-	3,48	55	0,03	1	1,63	26
Soja***	1,59	21	0,35	5	0,01	0,00	-	-	0,93	12	1,33	17	3,51	46
Alface	6,93	25	2,67	9	0,66	2	-	-	17,77	63	0,16	1	1,86	6
Banana	3,53	8	0,40	1	0,95	2	-	-	33,25	79	0,01	0,0	4,17	10
Cebola	15,66	24	3,23	5	2,01	3	0,74	1	41,34	62	0,04	0,00	3,22	5
Tomate	9,01	22	2,40	6	1,63	4	-	-	23,33	58	0,77	2	3,22	8

Fonte: Adaptado de Veiga *et al.* (2015). *Dados gerados para duas regiões brasileiras, Paraná e Mato Grosso. ** Considerando a utilização de baixo incremento de tecnologia na produção. *** Dados correspondentes ao Estado do Paraná.

Pelos resultados apresentados na Tabela 27 é possível inferir que as variáveis que interferem de forma significativa no consumo de energia na produção agrícola são fertilizantes, diesel e produtos químicos. Veiga *et al.* (2015) colocam que para sistemas de produção agrícola de maior intensidade é possível desconsiderar a energia incorporada pela força de trabalho (mão-de-obra) em função dos baixos valores apresentados em comparação com outras variáveis.

Abordando as demandas de energia pelas culturas mediante cada variável em questão, tem-se à mamona (0,69 GJ/ha), palma (0,71 GJ/ha), girassol (1,57 GJ/ha), soja (1,59 GJ/ha) e trigo (1,93 GJ/ha) com os menores consumos de diesel. Para o caso da categoria de máquinas, além das culturas anteriores, acrescenta-se a banana (0,4 GJ/ha), amendoim (0,48 GJ/ha) e feijão (0,55 GJ/ha) com as menores participações. Quanto aos fertilizantes, as maiores contribuições foram provenientes das culturas de cebola (41,34 GJ/ha), café (39,34 GJ/ha), banana (33,25 GJ/ha) e tomate (23,33 GJ/ha) e as menores contribuições para soja (0,93 GJ/ha), mamona (1,67 GJ/ha), amendoim (2,74 GJ/ha) e palma (3,48 GJ/ha).

A participação de fertilizantes e químicos na agricultura vem crescendo consideravelmente ao longo do tempo. No ano de 2011, o Brasil apresentou uma quantidade média de consumo de fertilizantes cerca de 170 kg/ha, tendo grande destaque os Estados de Minas Gerais (310 kg/ha), Goiás (240 kg/ha) e Espírito Santo (230 kg/ha), sendo que os dois primeiros Estados são os maiores consumidores de pesticidas do país (ROCHA *et al.* 2015). Sá *et al.* (2013) observaram que às entradas energéticas do uso de fertilizante representa um dos principais fatores associados a eficiência energética de produtos agrícolas, enquanto que a eficiência energética dos combustíveis e herbicidas estão associados ao manejo do solo praticado.

Melo *et al.* (2007), a partir de experimentos na produção de soja e milho por plantio direto em Medianeira, PR, apontam que no período de 2001 – 2002, o consumo de energia direta (óleo, lubrificante e graxa) alcançou 6,38 % de participação na produção de soja, enquanto que na produção de milho o consumo de energia direta foi de 4,46%. Para ambos os casos, o consumo de óleo diesel foi o elemento que mais influenciou nesses resultados, apresentando um consumo de 475,43 MJ/ha para milho e 723,96 MJ/ha para cultivo de soja (MELO *et al.*, 2007).

Quanto à energia indireta (sementes, nitrogênio, P - P₂O₅, K - K₂O, inseticida e fungicida), a plantação de soja alcançou um consumo de 42,98%, enquanto que para o cultivo de milho, o valor correspondeu a 50,5% (MELO *et al.*, 2007). Maquinários e equipamentos agrícolas (trator, semeadora, pulverizador, espalhador uréia, serviço colheita e transporte), no balanço energético participaram com 50,33% para soja e 45,04% para milho (MELO *et al.*, 2007). O serviço de colheita para os dois casos foi o maior responsável pelos valores apontados, 4.215,40 MJ/ha para soja e 3.746,64 MJ/há para miho (MELO *et al.*, 2007). Os autores encontraram resultados semelhantes realizando o balanço energético para o período de 2002 – 2003.

Comparando os resultados encontrados por Melo *et al.* (2007) com os resultados apontados na Tabela 27, referente ao estudo de Veiga *et al.* (2015), observa-se que no primeiro estudo a maior participação do consumo de energia incorporada ao processo produtivo foi proveniente de maquinários e equipamentos agrícolas, enquanto que no segundo estudo a maior participação foram correspondentes ao consumo de fertilizantes.

Sá *et al.* (2013) avaliaram a eficiência energética na produção de grãos, carne e bioenergia no Brasil. Os autores utilizaram 20 anos (1991 – 2010) de dados de cultivo considerando sistemas agrícolas especializados (pastagem de gramínea, pastagem de gramínea consorciada com leguminosa e produção de grãos em sistema plantio direto ou em sistema convencional de preparo do solo) e mistos (integração lavoura-pecuária em dois sistemas de manejo). A

partir de seus experimentos, os autores chegaram na conclusão que o balanço energético de grãos para gerar biocombustíveis é favorável para todos os sistemas analisados (preparo convencional do solo, plantio direto, e sistemas mistos com lavoura - pecuária), sendo que na rotação Lavoura/Pasto em sistema de plantio direto o balanço de energia recebeu os menores incrementos com 34,93 GJ/ha, enquanto que na rotação Pasto/Lavoura com preparo convencional do solo, o balanço energético foi de 73,68 GJ/ha.

Considerando a plantação de biocombustíveis, Silva & Freitas (2008) chamam a atenção ao apontar que a produção de grãos para gerar combustíveis consome uma maior quantidade de recursos naturais que a produção de petróleo. Segundo os autores, o consumo de energia para produzir 1000 kg de biodiesel proveniente de girassol e soja, incluindo maquinário, fertilizantes, transporte, herbicidas, dentre outros componentes, está em média de 19,6 Gcal e 11,4 Gcal respectivamente. Outros autores têm tratado que as bioenergias são alternativas interessantes quando se refere a pegada de carbono, no entanto, consomem água, energia e outros insumos (ROCHA *et al.*, 2015) e competem com a produção de alimentos (SCHLESINGER, 2014). Uma projeção para 2030 realizada para o Brasil por Carneiro (2015) estimam que a produção de etanol terá grandes reduções, 19,01 milhões de hectares para 13,35 milhões em situação de crise hídrica. Diante disso, é preciso analisar as formas de produção intrínsecas nas culturas energéticas.

Outros estudos em destaque, neste contexto, foram desenvolvidos por Lima *et al.* (1999), Melo *et al.* (2007) e Sá *et al.* (2013). Lima *et al.* (1999) apresentaram o consumo de água e energia elétrica para irrigação de algumas culturas presentes no Brasil. Os autores encontraram um consumo médio de energia por área irrigada de 2.714 kWh/ha.ano, ou seja, no setor de irrigação no Brasil são necessários aproximadamente 7.789 GWh/ano de energia elétrica. Deve-se mencionar que essas estimativas foram feitas considerando o período da década de 90. Logo, com os avanços tecnológicos e aumento da área irrigada nos dias atuais, esse valor deve ser revisto.

Síntese das principais variáveis e parâmetros de interesse nas interações nexus analisadas

A Tabela 28 traz uma síntese dos principais parâmetros e variáveis que devem ser considerados nas análises integradas nas interações nexus investigadas no presente estudo. Importante ressaltar que as variáveis e parâmetros levantados não foram todos analisados nesta pesquisa.

Como pode-se observar, usinas termelétricas e refinarias de petróleo possuem parâmetros semelhantes e variáveis iguais, uma vez que ambas as tecnologias detêm processos industriais que demandam de água e energia, principalmente em caldeiras para gerar vapor e em sistemas de resfriamento. Conforme já mencionado nos itens 4.3.2.1.1 e 4.3.2.1.2, a demanda de água nessas unidades varia muito em função do nível de tecnologia utilizada e da capacidade de produção.

Tabela 28: Síntese dos principais parâmetros e variáveis de interesse para análise de algumas interações nexus

Interação	Sistema	Parâmetros Chave	Variáveis Chave
Água para energia	Termelétricas (17 unidades analisadas)	Ciclo termodinâmico; Eficiência total da usina; Tipo de combustível; Sistema de Resfriamento; caldeiras	Logística; disponibilidade hídrica da região; tipos de fontes de água utilizadas (convencional e não convencional); qualidade da água necessária; captação de água para usina; perdas de água e energia nos processos; efluentes gerados; impactos nos ecossistemas; nível de tecnologia utilizada nas unidades geradoras; eficiência dos processos.
	Refinarias de petróleo (17 unidades analisadas)	Tipos de processos; eficiência total da usina; fonte de Energia; sistema de resfriamento; caldeiras	
	Hidrelétricas (17 unidades analisadas)	Regras de operação de reservatório; alocação de água	Evaporação; clima; área do reservatório; capacidade instalada; disponibilidade hídrica; demanda de água para o setor de energia
Energia para água	Concessionárias de água e esgoto	Ciclo do uso da água: Captação; Transporte; Tratamento; Distribuição; Consumo; Descarte; Transporte; Tratamento; Lançamento corpo receptor	Nível de tratamento; perdas de água e energia; tipo de sistema de abastecimento; logística; topografia; desperdício; ligação clandestina nas redes de água e esgoto; índice de coleta de esgoto; corpo d'água receptor; tecnologia utilizada; sistemas elevatórios
Água e energia para setor agrícola	Produção de agricultura irrigada	Método de irrigação; insumos utilizados; tipo de manejo do solo; maquinário agrícola; tipo de cultura - coeficientes de cultura (Kc); fonte de energia; pegada hídrica; análise do ciclo de vida da produção	Disponibilidade das diferentes fontes de água e energia; água virtual e energia incorporada aos produtos; qualidade da água; perdas de água e energia; logística; nível de tecnologia utilizada nos processos; impactos gerados nos ecossistemas; armazenamento; distribuição; consumo e desperdício de insumos e produtos.

Fonte: Próprio autor

4.3.3 Discussão

No Brasil, os setores de água – energia – agricultura irrigada são fortemente marcados pela ideologia histórica de que o país possui recursos naturais abundantes de difícil escassez, o que desencadeou seu uso de forma não controlada ao longo de décadas. Atualmente, essa ideologia não prevalece mais na maioria dos gestores públicos, da iniciativa privada e da sociedade como um todo. Apesar das mudanças nas abordagens e perspectivas desses segmentos, muitos empreendimentos foram instalados no país sem considerar análises das projeções da disponibilidade hídrica e energética como parâmetro de projeto, além de possuírem uma fraca percepção ambiental. Isso implica em riscos para o setor de energia, para o setor de recursos hídricos e para todas as atividades econômicas associadas a esses recursos.

Com a escassez de água cada vez mais presente no cenário nacional agregado ao aumento do quadro de degradação ambiental do país, várias estruturas operacionais de empreendimentos (usinas de energia, sistemas de abastecimento de água e esgoto, agricultura, indústria, etc.) precisaram ser revistas.

Usinas de energia mais antigas, por exemplo, necessitam passar por consecutivas revisões para investigar a adequabilidade dos seus processos quanto aos seus fluxos de água e energia

e seus prováveis impactos associados. Em situações onde suas estruturas físicas e operacionais não tenham sido adaptadas, frente aos avanços tecnológicos, ou apresente equipamentos deficitários, as mesmas devem ser suspensas para adequação ou desativadas, conforme ocorrido nas UTE Nutepa, UTE Presidente Médici e UTE São Jerônimo, onde a ANEEL solicitou a extinção de suas concessões alegando estágio de degradação dos seus equipamentos (ANEEL, 2018). Observa-se então, que maior atenção deve ser atribuída à necessidade de aumentar o número de fiscalizações para avaliar a situação das usinas instaladas no país. Equipamentos ou estruturas danificadas reduzem as eficiências operacionais de uma usina, conseqüentemente, aumenta as perdas do sistema que acarreta em maior desperdício de insumos utilizados nos processos. Os insumos, por sua vez, também consomem recursos, como água e energia, para serem produzidos. Esses recursos compõem o ciclo de vida dessas usinas e devem ser contabilizados em seus fluxos.

No caso do setor agrícola, as perdas de insumos na produção também ocorrem por processos ineficientes, porém, ligados geralmente ao manejo dos solos e aos métodos de irrigação utilizados no local. Uns dos grandes impasses quanto às eficiências dos métodos de irrigação, persistem no fato que métodos que possuem uma maior eficiência hídrica, geralmente, tendem a ter um maior consumo de energia, como por exemplo, o método de gotejamento. O inverso, geralmente, também se aplica. Deve-se lembrar que o consumo de energia também remete ao consumo de água em seus processos de extração e geração, no entanto, algumas tipologias consomem menos que outras. Tendo isso em mente, verifica-se um aumento significativo da utilização de energias alternativas (eólica e solar) para bombeamento de águas subterrâneas, quando for necessário, e para atender aos sistemas de irrigação mais eficientes. A utilização de fontes alternativas de energia (principalmente energia solar) na agricultura tem mostrado grandes resultados no alcance da eficiência hídrica e energética, conforme visualizado no trabalho desenvolvido por Harishankar *et al.* (2014).

Toda energia utilizada no processo de produção agrícola, assim como o consumo de água, são incorporados aos seus produtos. Quando esses produtos são importados e/ou exportados, uma grande quantidade de água virtual e energia também são consideradas nessas transações comerciais. Não se conhece, ao certo, a quantidade de água virtual e energia exportada e importada agregado aos produtos agropecuários do Brasil, o que existem são algumas estimativas. Dentre elas, maior atenção é atribuída à água virtual inserida nos produtos provenientes da pecuária, especialmente, frango, suíno e gado de corte, conforme relatado por Silva *et al.* (2016) no contexto brasileiro e Mekonnen & Hoekstra (2012) no contexto global. Quanto à água virtual inserida nas culturas de exportação do Brasil, os maiores valores sobressaem para o milho, trigo, arroz e banana, e para culturas de importação, sobressaem trigo, arroz e feijão (SILVA *et al.*, 2016). No contexto global, os maiores valores de água virtual ocorrem na produção de nozes, culturas oleaginosas e cereais (MEKONNEN & HOEKSTRA, 2012). Essas relações direcionam a necessidade de avaliar os hábitos alimentares da sociedade. Países que possuem uma população mais carnívora tendem a consumir uma maior demanda de água que países que possuem sua população direcionado para hábitos com menor incremento de carne em suas dietas.

A Europa é o maior importador de água virtual em commodities agrícolas do Brasil (27,7 bilhões de m³/ano), estimado em 41% do total de água virtual bruta exportada (SILVA *et al.*, 2016). Silva *et al.* (2016) faz uma comparação do valor de água virtual exportado para a Europa com o armazenamento de água da usina de Sobradinho, que representa o 12º maior lago artificial do mundo com capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de m³. Ao fazer esta comparação, observa-se o grande volume de água virtual que o país exporta.

Quando envolve a energia incorporada aos produtos, as variações em seus valores convergem para uma maior quantidade de variáveis que deve ser analisada, como por exemplo, uso de maquinários agrícolas, mão-de-obra, fertilizantes, diesel e produtos químicos. A definição das principais variáveis que interferem no balanço energético das culturas depende de seu tipo (permanente e temporária), suas necessidades, área irrigada, clima da região e a logística nas etapas de colheita, armazenamento e transporte desses produtos. Por exemplo, culturas que demandam de irrigação, com maior frequência, para complementar a necessidade hídrica da planta, possuem maior distância dos pontos de colheita aos pontos de armazenamento e distribuição, e um maior consumo de fertilizantes e herbicidas, tendem a ter uma maior energia incorporada.

Diante disso, observa-se que os principais desafios do setor agropecuário brasileiro refletem desafios semelhantes de várias regiões do mundo, especialmente, países subdesenvolvidos: conseguir alcançar o aumento da produtividade com a maior eficiência no consumo de água e energia, menor perda no sistema produtivo e menor geração de resíduos provenientes do processo. Alguns desses desafios consistem em:

- Substituir métodos de irrigação ineficientes por sistemas inteligentes de irrigação, que associem eficiência hídrica e energética: Ênfase nas técnicas de irrigação de inundação praticados na região Sul do país, e na concentração de pivô central em todas as regiões, sendo essas técnicas de baixa eficiência no uso da água (TESTEZLAF, 2017). Além disso, deve-se incentivar o uso de energia solar nos sistemas eficientes de irrigação (HARISHANKAR *et al.*, 2014);
- Incentivar a agricultura tecnológica e sustentável, que “não considere apenas a produtividade e o retorno econômico imediato, mas que tenha uma visão sistêmica e integrada da produção agropecuária em seu ambiente, visando a sua otimização e sua continuidade a longo prazo” (SAMBUICHI *et al.*, 2012);
- Reduzir os impactos e avanços da pecuária e da expansão agrícola (em especial, soja) na região norte da Amazônia (DOMINGUES & BERMAN, 2012);
- Reduzir dietas à base de carne, conscientizando para a necessidade de alteração dos padrões de consumo da população;
- Alcançar as metas levantadas no setor agropecuário referente a “Pretendida Contribuição Nacionalmente Determinada (iNDC) brasileira” das Nações Unidas, sobre mudança do clima, definidos a partir do Acordo de Paris;
- Segundo Sambuichi *et al.* (2012), o principal desafio em fomentar o desenvolvimento da produção agropecuária sustentável é “conciliar nas decisões políticas os aspectos econômicos, sociais e ambientais, pois estes apresentam tradeoffs que quase sempre levam ao favorecimento de um aspecto em detrimento dos demais e muitas vezes resultam no desenvolvimento de políticas conflitantes” (SAMBUICHI *et al.*, 2012);
- Expandir a cultura do reuso nos sistemas produtivos tendo como exemplo a política de Israel para atender a crescente demanda por água (ARLOSOROFF, 2007);
- Adaptar os sistemas produtivos às alterações climáticas e reduzir as emissões de gases provenientes da agricultura e da pecuária (FAO, 2011);
- Avançar na inserção da gestão de demanda no gerenciamento dos recursos hídricos e energéticos, não ficando restrito apenas na gestão da disponibilidade;

- Vencer os desafios supracitados diante do cenário político, econômico e cultural intrínseco no modelo de desenvolvimento do país e encontrar meios para reduzir a dependência dos investimentos públicos setoriais almejando soluções e investimentos também através de incentivos da iniciativa privada;
- Reduzir os desperdícios de alimentos - ODS 12 “Até 2030, reduzir pela metade o desperdício de alimentos per capita mundial, nos níveis de varejo e do consumidor, e reduzir as perdas de alimentos ao longo das cadeias de produção e abastecimento, incluindo as perdas pós-colheita” (UNITED NATIONS, 2015);
- Investir fortemente no planejamento logístico eficiente no setor agrícola visando reduzir as perdas e desperdícios de produtos entre as etapas de colheita, armazenamento e distribuição.

A logística também é considerada uma variável imprescindível na escolha da localização das usinas de energia instaladas no Brasil quanto à disponibilidade hídrica da região, especialmente àquelas que ainda não foram construídas e demandam de significativos volumes de água. Este fator, na maior parte dos casos, não era considerado nos projetos de usinas térmicas. Porém, como se trata de um potencial usuário de água, conseqüentemente, concorrente de outros usos na região, a disponibilidade hídrica deve ser um dos pontos limiar na escolha da localização desses empreendimentos. Demeke *et al.* (2013) recomendam que seja utilizado o método de pegada hídrica nos projetos de novas usinas como um fator ambiental para alcançar projetos sustentáveis. No caso das UTE movidas a gás natural, deve-se acrescentar ainda a logística dos gasodutos. O Brasil ainda necessita expandir o setor de gás natural para que permita a viabilidade da implantação de UTE tendo como base esse tipo de energia.

Neste contexto, pode-se citar a UTE Uruguaiana no sul do Brasil que foi paralisada no ano de 2015 devido à falta no suprimento de gás natural fornecido pela Petrobrás, sendo o gás proveniente da Argentina (GUIMARÃES FRANCISCO, 2018). No sistema de monitoramento do ONS, essa usina gerou energia até novembro de 2014. De forma semelhante, a UTE Araucária, localizada no Paraná, foi paralisada. Porém, no banco de dados do ONS, atualmente essa usina voltou a operar.

No setor de água e esgoto, a logística está diretamente associada ao consumo de energia. Os maiores fluxos de energia neste setor envolvem o sistema de bombeamento utilizado principalmente, no transporte da água do corpo hídrico até à ETA, ou da ETA até os pontos de distribuição, e da coleta de esgoto até às ETEs, caso existam, e das ETEs até o destino final. Logo, quanto maior a distância entre esses pontos associada à declividade desfavorável, maior tende a ser o número de elevatórias, conseqüentemente, maior será o consumo de energia. Identificado os maiores fluxos de água e energia nesses sistemas, como em qualquer outro setor, é preciso monitorar as perdas presentes nos processos e proposição de alternativas de eficiência hídrica e energética para maiores ganhos financeiros do setor.

O controle de perdas ainda é defasado no Brasil. Embora que, de forma pontual, algumas concessionárias têm investido recursos financeiros em projetos de eficiência energética, podendo citar o caso da SABESP para o abastecimento de água, no intuito de reduzir o consumo de energia nos sistemas elevatórios de algumas localidades de sua atuação (HAGUIUDA, 2019). Pra o caso de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), pode-se citar a ETE ABC e a ETE Parque Novo Mundo, ambas iniciadas suas operações no ano de 1998 (SABESP, 2009).

As principais ações que têm sido desenvolvidas pela SABESP nos sistemas de abastecimento de água incluem: instalação da macromedicação individualizada; substituição dos conjuntos

motobombas por outros eficientes; instalação de conversor de frequência; e instalação do sistema de automação local para otimização da operação (ELETROBRAS, 2019).

No caso de sistemas de esgoto, já existe consolidado globalmente que os tipos de tratamento que utilizam aeradores em seus processos demandam um maior consumo de energia. A ETE ABC, por exemplo, possui três tanques de aeração (45% de energia elétrica da planta) e quatro conjuntos de sopradores, enquanto a ETE Parque Novo Mundo possui quatro tanques de aeração (70% de energia elétrica da planta) e quatro conjuntos de sopradores (SABESP, 2009). As principais intervenções nos projetos de eficiência energética conduzidas pela SABESP nessas estações envolvem a remoção do material sedimentado, substituição de difusores de ar, revisão em todo sistema de tubulação de distribuição de ar visando identificar pontos de vazamentos, revisão dos sopradores e implantação de sistema de controle automático (medidor de OD e transmissor de pressão) (SABESP, 2009).

Visando atender às demandas de energia da própria ETE, tem crescido o interesse em arranjos de estações de tratamento compostas por reatores anaeróbios seguidos de pós-tratamento e tratamento anaeróbio do lodo, sendo ambos operados para aproveitamento do biogás. Valente (2015) e Moreira (2017) colocam que apesar do Brasil estar avançando no setor de tratamento de esgoto, o aproveitamento energético do biogás ainda não é uma prática consolidada. A maioria das ETES, quando promovem a recuperação do biogás, o queima antes de lançá-lo na atmosfera, desperdiçando seu potencial energético (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015). Isso geralmente ocorre devido às incertezas na viabilidade econômica do aproveitamento do biogás em ETES do país (VALENTE, 2015).

Esse cenário começou a mudar no Brasil a partir do desenvolvimento do projeto PROBIOGÁS. Esse projeto é uma cooperação técnica entre Brasil-Alemanha, firmada inicialmente em 1996, porém, somente em 2011 foi desenvolvido interesse relativo ao tema de biogás, representando o impulsor das discussões sobre aproveitamento energético no saneamento do país (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2015; MOREIRA, 2017). Para o Brasil, esse projeto representava uma possibilidade de inserir o biogás em sua matriz energética, além de promover avanços no setor de tratamento de esgoto de forma mais eficiente, reduzindo as emissões de GEE (MOREIRA, 2017). Para a Alemanha, o projeto representava a possibilidade de reduzir as emissões de GEE no contexto global, além de alcançar um novo mercado para difundir tecnologias de reaproveitamento do biogás (MOREIRA, 2017). Desde então, muitos estudos no Brasil têm sido realizados dentro desta área do conhecimento (CHERNICHARO *et al.*, 2010; LOBATO, 2011; VALENTE, 2015; CABRAL, 2016).

Além do PROBIOGÁS, o Programa de Economia de Energia/PROCEL SANEAR tem direcionado incentivos na elaboração de projetos voltados para eficiência energética e eficiência hídrica em sistemas de água e esgoto. Porém, os resultados desse programa tem atingido mais o setor de abastecimento de água que o setor de esgotamento sanitário (JORDÃO, 2008).

Deve-se mencionar que a produção de biogás está presente em vários outros setores como, agropecuária e agroindústria (MOREIRA, 2017). Esses setores também devem ser considerados nas análises das inter-relações entre “água-energia-agropecuária” e “água-energia-agroindústria”. O setor industrial é primordial nas relações “nexus”, sendo constantemente incluído neste contexto devido às suas altas taxas de consumo e dependências dos segmentos de água e energia em seus processos.

Por exemplo, pode-se citar o caso das refinarias de petróleo e das usinas térmicas. As etapas dessas estruturas que demandam um maior volume de água, tanto em quantidade quanto em qualidade, referem-se à reposição de água em torres de resfriamento e à geração de vapor nas

caldeiras. Qualquer usina que necessite de vapor em seus processos e utilize sistemas de resfriamento movidos à água, tende a demandar um maior consumo desse recurso. Diante disso, devem-se mapear os fluxos de água na planta da usina para propor alternativas de melhorias, de forma que sejam testadas, em caráter científico e prático, no intuito de evitar perdas financeiras, perdas de matéria-prima e futuros problemas ambientais.

A implantação de ações de eficiência hídrica e energética de forma inconsistente tende a não contribuir para a redução do consumo desses recursos e acarreta em investimentos onerosos desnecessários. Pode-se tomar como exemplo a situação da Refinaria de Mangueiras que apresentou consecutivos problemas nos trocadores de calor em função de algumas falhas na implantação do sistema de reciclo de efluentes, conforme abordado por Nogueira (2007). Como medida de controle no uso da água, a PETROBRÁS possui um banco de dados chamado “Data Hidro (Sistema Corporativo sobre Recursos Hídricos e Efluentes)” direcionado para monitoramento, consolidação e tratamento dos dados de recursos hídricos e efluentes das unidades da Companhia (PETROBRÁS, 2018). Essa iniciativa deveria compor o planejamento de todas as usinas de energia do país que demandam de água em seus processos, porém, além de auxiliar na gestão do sistema corporativo, essas informações poderiam estar interligadas aos cadastros dessas usinas nos bancos de dados setoriais de forma pública.

Diferentemente das usinas térmicas e das refinarias de petróleo, as hidrelétricas não consomem químicos ou água (uso consuntivo) na etapa de geração de energia. Porém, é considerado globalmente como uma das tipologias do setor de energia que mais consome água em função da evaporação dos reservatórios. Muitas técnicas têm sido desenvolvidas para reduzir as taxas de evaporação nesses ambientes, dentre elas, sistemas de cobertura flutuantes, coberturas modulares, estruturas de cortinas, coberturas de monocamada química, métodos biológicos e métodos de design (FERRER GISBERT *et al.*, 2013; SANTAFÉ *et al.*, 2014). Desses métodos, a utilização de sistemas flutuantes tem sido apontada por autores como uma técnica que alcança reduções de cerca de 80% na evaporação (FERRER GISBERT *et al.*, 2013). Exemplo desse tipo de sistema são as placas fotovoltaicas flutuantes (FERRER GISBERT *et al.*, 2013; SANTAFÉ *et al.*, 2014; BARBUSCIA, 2017). No Brasil, a primeira planta piloto de sistema fotovoltaico flutuante foi instalada no reservatório de Sobradinho pela Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf) no ano de 2016, sendo previsto para finalizar no ano de 2021 (Chesf, 2019). Até o momento, ainda não foram identificados publicações apontando as taxas de reduções de evaporação no lago de Sobradinho.

As hidrelétricas, além das taxas de evaporação, possuem uma relação direta com outros setores devido à alocação de água para atender distintas demandas desse recurso, como o setor agrícola, aquicultura, indústria, mineração, dentre outros. Através de regras de operação de reservatórios são definidas as vazões defluentes à jusante desses barramentos. Por serem ferramentas de conexão entre múltiplos setores, a alocação de água e a operação de reservatórios devem ser melhor explanados nas discussões envolvendo o contexto nexus.

Especificamente para o contexto de alocação de água, pode-se apontar para seis objetivos que compreendem o conceito nexus como planejamento estratégico nesse instrumento:

(a) Ampliar os métodos de avaliação utilizados na alocação da água, possibilitando a extensão das análises para outras inter-relações entre elementos distintos envolvidos no sistema, não ficando restrito na relação direta entre disponibilidade hídrica para atendimento as suas demandas. Neste caso, Bekchanov & Lamers (2016) elencam um conjunto de questionamentos que devem ser considerados nos processos decisórios de alocação da água ao abordar a teoria dos nexus. Os aspectos levantados pelos referidos autores são baseados em dois critérios que se complementam:

Eficiência tecnológica - (i) Como as modernizações tecnológicas nos sistemas de irrigação podem impactar a disponibilidade da água e a demanda de energia? (ii) Como as tecnologias de energia renovável, por exemplo, solar e eólica, podem aumentar o fornecimento de energia para extrações de águas superficiais e subterrâneas e, conseqüentemente, auxiliar na segurança de abastecimento de água e alimentos?

Eficiência econômica - (iii) Quão financeiramente viáveis são as melhorias na eficiência dos usos de água e energia? (iv) Quais são os impactos do aumento dos preços da energia nos processos de captação, tratamento e distribuição de água e na produção e distribuição dos alimentos?

(b) Inserir no processo de alocação fontes de água não-convencionais. Neste sentido, é fundamental alcançar duas questões: incentivo aos usuários na elaboração e implementação das medidas necessárias para utilização de fontes alternativas de água (não-convencional e captação da água da chuva), visando a descentralização do sistema de captação da água;

(c) Construir cenários de alocação da água com base nos dados levantados nos objetivos (a) e (b), apontando para cada cenário as estratégias de gestão para diferentes condições climáticas, usos do solo, aumento de demandas (crescimento populacional), dentre outros fatores intervenientes no sistema de planejamento dos recursos hídricos. Bekchanov & Lamers (2016) realizaram um estudo visando avaliar os efeitos das restrições do setor de energia para o processo de decisão na alocação da água a partir da utilização de um modelo hidroeconômico (SEWEM). Este trabalho pode ser utilizado como referência para análise deste objetivo.

(d) Construção de um processo de alocação condicionada por meio de medidas compensatórias. Por exemplo, considerando o princípio da eficiência, os agricultores que forem beneficiados por produzirem culturas adotando sistemas de irrigação mais eficientes, cujos retornos econômicos para bacia sejam potencializados, podem compensar outros usos ou usuários. Essas compensações podem ocorrer através de pagamento de taxas por serviços ambientais ou até mesmo de acordo com Goetz *et al.* (2017) pagamentos paralelos, onde os usuários favorecidos na alocação de água compensem os não favorecidos sem comprometer todos os seus ganhos. As compensações também devem ser consideradas para usuários que utilizarem fontes de energia renovável (solar e eólica) nos sistemas de produção agrícola visando reduzir pressões na geração de energia hidroelétrica. Esse fator deve estar interligado ainda aos instrumentos de outorga e cobrança pelo uso de recursos hídricos.

(e) Avaliar os efeitos socioeconômicos e ambientais dos cenários construídos no item (c) para todos os setores envolvidos. Para este objetivo, tem-se como referência o estudo desenvolvido por Hussey & Pittock (2012) que elenca algumas reflexões direcionadas para gestores públicos e privados referentes às interações entre elementos nexus, podendo citar: os impactos das políticas e regulamentações de água sobre os suprimentos e demandas de energia; as políticas de regulamentações de energia nas demandas e disponibilidade de água; políticas de mitigação e adaptação climática e seus efeitos nas políticas desenvolvidas nos setores de energia e água. As mesmas reflexões devem ser conduzidas para as relações com o setor agropecuário.

(f) Utilizar Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) para fomentar a construção de processos decisórios intersetoriais, embasado na governança conjunta dos segmentos de água-energia-agricultura, e promover avanços de inserção dessa teoria em questões mais práticas por meio de políticas institucionais que regem as esferas das deliberações e possibilitam os investimentos (EMBED & MARTÍN, 2018). As investigações das políticas setoriais referentes à esses segmentos o Brasil será conduzido na seção 4.4 do presente estudo.

4.4 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO PARA CLASSIFICAÇÃO DO NÍVEL DE INTEGRAÇÃO ENTRE CONCEITO NEXUS E POLÍTICAS SETORIAIS (PARTE III - B)

O delineamento das políticas públicas setoriais é necessário para efetivação da implementação do conceito nexus no âmbito dos setores público e privado. Esse processo está alinhado a uma grande quantidade de variáveis como, por exemplo, legislações, políticas públicas, estrutura institucional, atores-chave, processo decisório, dentre outras. Bizikova *et al.* (2013) descrevem que a implantação desse conceito representa um aprendizado contínuo dos sucessos e fracassos alcançados nos sistemas de gestão e governança dos recursos naturais e suas atividades correspondentes, melhorando ou modificando o que não está funcionando e fortalecendo as ações que estão funcionando.

Para isso, é imprescindível identificar e analisar as variáveis mencionadas nos setores de água, energia e agricultura para se avaliar os requisitos necessários de serem revistos ou alterados. Alterações em regulamentos setoriais envolvem empecilhos judiciais, burocráticos, políticos, econômicos e sociais. Logo, é importante avaliar se os regulamentos que já existem são adequados para os requisitos da abordagem nexus. Diante disso, esta seção foi dividida em duas partes: (a) identificação das principais políticas setoriais atuantes no Brasil para os segmentos de água, energia e agricultura, em escala nacional; e (b) aplicação da metodologia proposta para classificação do nível de integração entre as principais bases legais identificadas no Brasil com relação ao conceito nexus.

4.4.1 Caracterização das principais políticas setoriais presentes no Brasil referentes aos setores de Água - Energia - Agricultura

Pela própria extensão territorial do Brasil, existe um grande número de legislações e políticas distribuídas entre municípios, Estados e União. Neste item, serão abordadas algumas políticas públicas e legislações da União. O levantamento da estrutura institucional dos setores de água, energia e agricultura foi realizado na segunda parte deste estudo na seção 4.2 (Procedimento metodológico para identificação, análise e seleção de bases de dados multissetoriais).

4.4.1.1 Política Agrícola

Política agrícola no Brasil é regida pela Lei nº 8.171/1991. Refere-se a um conjunto de programas, planos, projetos e legislações voltadas para o desenvolvimento e regulação do setor de agricultura. Atividade agrícola “compreende processos físicos, químicos e biológicos, onde os recursos naturais envolvidos devem ser utilizados e gerenciados, subordinando-se às normas e princípios de interesse público, de forma que seja cumprida a função social e econômica da propriedade” (BRASIL, 1991).

Ao longo da história, observa-se que a consolidação das políticas agrícolas induziu importantes mudanças no desenvolvimento das atividades da agricultura e demais segmentos da economia (NUNES, 2007). Para Pintor *et al.* (2015), uma das políticas que foi e continua sendo indispensável para o crescimento da agricultura brasileira é o crédito rural. “A expansão do setor agrícola está atrelada ao crescimento da oferta de crédito” (PINTOR *et al.* 2015). Segundo o Plano Safra 2019/2020, a programação de investimento do crédito rural é de R\$ 222,74 bilhões divididos entre o custeio, comercialização, industrialização e investimentos em programas de desenvolvimento do setor, como por exemplo, (MAPA, 2019b; CNA, 2019):

- (a) Programa de modernização da agricultura e conservação dos recursos naturais (MODERAGRO): Fomenta o financiamento dos setores da produção, beneficiamento, industrialização, acondicionamento e armazenamento de produtos agropecuários;
- (b) Programa de modernização da frota de tratores agrícolas e implementos associados e colheitadeiras (MODERFROTA): Fomenta o financiamento de máquinas (tratores, colheitadeiras, implementos associados, pulverizadores autopropelidos), equipamentos e implementos agrícolas novos e usados, além de colheitadeiras e suas plataformas de corte, novos e usados;
- (c) Programa de Incentivo à Irrigação e à Produção em Ambiente Protegido (Moderinfra): Financia investimentos relacionados a todos os sistemas que incorporam a irrigação;
- (d) Programa de incentivo à inovação tecnológica na produção Agropecuária (INOVAGRO): Auxilia investimentos em inovação tecnológica nas propriedades rurais no intuito de aumentar sua produtividade a partir de boas práticas agropecuárias;
- (e) Plano de Agricultura de Baixo Carbono (ABC): Tem por finalidade o planejamento de ações na agricultura que visem à adoção de tecnologias de produção sustentáveis para responder aos compromissos firmados na redução de emissão de gases de efeito estufa neste setor;
- (f) Programa para Construção e Ampliação de Armazéns (PCA): Financia investimentos necessários à ampliação e à construção de novos armazéns;
- (g) Programa de Desenvolvimento Cooperativo para Agregação de Valor à Produção Agropecuária (Prodecoop): Aumentar a competitividade das cooperativas do complexo agroindustrial através da modernização da produção e comercialização de produtos agrícolas;
- (h) Programa Nacional de Apoio ao Médio Produtor Rural (Pronamp): Visa auxiliar investimento para o desenvolvimento das atividades do médio produtor rural;
- (i) Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf): Financiamento atribuído aos agricultores familiares para desenvolver suas atividades.

Além desses programas, Nunes (2007) acrescenta ainda a extensão rural e o seguro rural. O Seguro rural, assim como o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), a Garantia Safra e o Seguro agricultura familiar, compõem os investimentos do setor agrícola na gestão de risco rural (MAPA, 2019b).

O Seguro rural caracteriza-se por auxiliar, financeiramente, os produtores quanto aos riscos de produção (secas, geadas, granizo, doenças, pragas etc.) e riscos de mercado (variações de preços) (FORNAZIER *et al.*, 2012). Devido à algumas peculiaridades inerentes à esse programa, no ano de 2003, o governo Federal criou o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural – PSR (Lei nº 10.823/2003) visando promover a universalização do acesso ao seguro rural como instrumento de estabilidade de renda para os produtores rurais e incentivar a utilização de tecnologias adequadas no setor (FORNAZIER *et al.*, 2012).

Similar a isso, o Proagro, criado pela Lei 5.969/1973 e regido na Política Agrícola (Lei nº 8.171/1991), tem por objetivo “a exoneração de obrigações financeiras relativas à operação de crédito rural de custeio cuja liquidação seja dificultada pela ocorrência de fenômenos naturais, pragas e doenças que atinjam rebanhos e plantações e sua indenização” (BRASIL, 1991).

A base de financiamento de vários programas e planos agrícolas, o crédito rural, foi criado pelo governo Federal em 1965 para “incentivar o agronegócio através do repasse de recursos subsidiados para custeio, investimento e comercialização de produtos agropecuários”

(ASSUNÇÃO *et al.*, 2016). Assunção & Souza (2019) trazem que existe um grande potencial de integração entre a política de crédito rural com o Código florestal.

Pesquisadores do Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas da PUC- Rio/ Climate Policy Initiative (CPI), propõe que: “para cada linha de financiamento do Crédito Rural, os produtores poderão ter seu limite de crédito ampliado” desde que estejam em conformidade com o Código Florestal, ou seja, não terem passivos ambientais em suas propriedades (ASSUNÇÃO *et al.*, 2016). Em caso de não conformidade com a lei, os produtores poderão receber o benefício desde que estejam em processo de regularização perante o órgão ambiental competente, através do “Programa de Regularização Ambiental (PRA) ou por outros meios especificados nas legislações Estaduais” (ASSUNÇÃO *et al.*, 2016).

Para Assunção & Souza (2019), a ideia de utilizar o crédito rural como instrumento de preservação ambiental já foi utilizado pelo Banco Central do Brasil ao condicionar a concessão de crédito em propriedades localizadas na Amazônia à conformidade com padrões ambientais e à comprovação da legitimidade de títulos de propriedade. Segundo os autores, com esse condicionamento, houve uma redução de 15% no desmatamento da Amazônia no período de 2008 à 2011, mostrando a eficácia na integração entre políticas públicas e preservação ambiental.

A política de extensão rural também pode ser utilizada como instrumentos de preservação ambiental, a partir da Assistência Técnica Rural (Ater) que possibilita auxiliar produtores quanto à utilização de melhores práticas agrícolas (incluindo alternativas de redução do consumo de água, energia, fertilizantes, herbicidas, etc.) por meio de capacitações, oficinas e apoio técnico (PEIXOTO, 2008). Dentre os princípios do Ater, ressalta-se a contribuição para o desenvolvimento rural sustentável e a modernização da agricultura com base nas técnicas da agroecologia (RAMBO *et al.*, 2015). A Ater pode ser desenvolvida por organizações públicas e/ou privadas, sendo normalmente desempenhadas por organizações não governamentais (ONGs), instituições públicas e cooperativas (PEIXOTO, 2008).

Na mesma linha preservacionista, o Plano ABC apresenta o detalhamento das ações de mitigação e adaptação às mudanças do clima para o setor agropecuário, e aponta de que forma o Brasil pretende cumprir os compromissos assumidos na redução de emissão de gases de efeito estufa neste setor (MAPA, 2012). Dentre suas propostas de ações, destaca-se o aumento da integração lavoura-pecuária, ampliação do uso do Sistema Plantio Direto (SPD), da Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN); e eficiência energética. Como principal instrumento pode-se citar o Zoneamento Agrícola de Risco Climático (ZARC), que tem por finalidade minimizar os riscos no setor agrícola em função de fenômenos climáticos, auxiliando municípios a identificarem o melhor período de plantio e tipo de cultura para diferentes tipos de solos (MAPA, 2017).

Segundo a EMBRAPA (2018), o Brasil tem investido em processos de produção sustentáveis através do ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) que vem incentivando o fomento de alguns programas e planos, como o Plano ABC. Embora a evolução tecnológica esteja influenciando transformações no setor desde o início do século 21, ainda persistem grandes esforços para alcance de uma produção mais responsável com viés da sustentabilidade, em função da “agricultura predatória, degradante e ilegal” ainda existir em várias regiões do país (GUEDES PINTO & GUEDES PINTO, 2016).

Massuquetti *et al.* (2010) trazem de forma geral, a implementação das políticas, planos, programas e projetos no território nacional não foi conduzida de forma homogênea para todas as regiões do Brasil, podendo citar a distribuição do crédito rural que concentrou-se em algumas regiões, culturas e produtores, em especial, os produtores destinados ao mercado

externo. Com isso, criou-se uma disparidade entre estabelecimentos que possuem avanços nos processos produtivos vinculados à eficiência da gestão e uso de tecnologias, e estabelecimentos que apresentam baixas eficiências e ausência no uso das tecnologias (GARCIA & VIEIRA FILHO, 2014). Assim, “O setor agropecuário brasileiro apresenta uma profunda heterogeneidade em sua estrutura produtiva” (GARCIA & VIEIRA FILHO, 2014).

Na área da agricultura familiar, por exemplo, apesar dos incentivos governamentais, especialmente vinculado ao Pronaf, ainda existe no Brasil uma grande exclusão de agricultores mais pobres na concessão desses créditos (COSTA, 2005). O Programa do governo Pronaf, foi criado em 1995-1996 para disponibilizar crédito para “investimentos, custeio e comercialização a condições diferenciadas para os agricultores familiares” (GARCIA & VIERIA FILHO, 2014). O programa ainda inclui: (a) Seguro da Agricultura Familiar (SEAF); (b) Programa Garantia-Safra; (c) Programa de Garantia de Preços da Agricultura Familiar (PGPAF); (d) Programa de Aquisição de Alimentos (PAA); Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE); Assistência Técnica e Extensão Rural (Ater); Programa de Garantia de Preço Mínimo (PGPM) e “ações de fomento às atividades produtivas rurais vinculadas ao Plano Brasil Sem Miséria” (GARCIA & VIERIA FILHO, 2014).

Assim como o Pronaf, vários outros programas se encontram em situações semelhantes de implementação, dando um caráter bastante diverso e desigual para a agricultura brasileira, onde os incentivos para o crescimento da produção são priorizados para alguns tipos de culturas, regiões específicas e perfis produtores (GUEDES PINTO & GUEDES PINTO, 2016). Por exemplo, por sua relevância na economia do país, as culturas voltadas para produção de bioenergia tem tomado cada vez mais espaço no setor, como monoculturas de cana-de-açúcar e milho. Desde a criação do Instituto do Açúcar e do Alcool em 1933 e a criação do programa Pró-Alcool em 1975, as agroenergias se consolidaram no Brasil (EMBRAPA, 2018). O Pró-Alcool teve como principal finalidade aumentar a produção de culturas agroenergéticas no país e sua capacidade de processamento industrial visando substituir gasolina por álcool (ROCHA *et al.*, 2015).

4.4.1.2 Política energética

Política energética, regida pela Lei 9.478/1997, refere-se a um conjunto de programas, planos, projetos e legislações voltadas para o desenvolvimento do setor de energia. As políticas energéticas representam uma das dimensões mais relevantes da infraestrutura de um país por refletir a segurança de seu abastecimento e por funcionar como um instrumento de “amortecimento macroeconômico e social” além de repercutir sobre as “coalizões políticas” (SANTANA, 2015).

O setor de energia no Brasil, após sua reestruturação iniciada na década de 90, segue o arranjo institucional apresentado no item 4.2 (PARTE II, Figura 28). Basicamente, o setor é composto pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE); Ministério de Minas e Energia (MME); Secretarias de Planejamento e Desenvolvimento Energético, de Energia Elétrica, de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis; Empresa de Pesquisa Energética (EPE); e as agências reguladoras, como a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); além da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN); Agência Nacional de Mineração (ANM); e de empresas mistas como PETROBRÁS e Eletrobras.

O CNPE é responsável pela elaboração das políticas e diretrizes do setor de energia e o MME é responsável por criar normas, implementar e avaliar os programas Federais e políticas nesse setor (ALCOFORADO, 2012). Das políticas do governo, destacam-se o Programa de

Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa); o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel); o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica (Luz para Todos); a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), e o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB).

O Proinfa foi regulamentado pela Lei nº 10.438/2002 tendo como objetivo “aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos de produtores independentes autônomos, concebidos com base em fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa, no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN)” (BRASIL, 2002). A partir deste programa, houve um grande avanço da participação das energias renováveis no país. Para Losekann & Hallack (2018), a energia eólica no Brasil foi introduzida inicialmente pelo Proinfa, onde previa contratação de 3,3 GW de capacidade de geração. Na plataforma da Eletrobras (ELETROBRAS, 2019) podem ser encontradas informações referentes à movimentação financeira do Proinfa e os dados de geração de energia das usinas integrantes desse programa para os segmentos de biomassa, PCH e eólica.

O Procel é um programa do governo criado em 1985 para o desenvolvimento de ações de eficiência energética em várias atividades e setores do Brasil, sendo coordenado pelo MME e executado pela Eletrobras (ELETROBRAS, 2018). Os subprogramas que compõem a Provel são (ELETROBRAS, 2018):

- Procel Educação: Desenvolvimento de processos de educação em conjunto com comunidades científicas (parceria com instituições de educação pública e privada) visando a redução dos desperdícios de energia elétrica;
- Procel Info (Centro brasileiro de informações de eficiência energética): É um portal de dados abertos criado no ano de 2006 pela Eletrobras para disponibilizar informações sobre os resultados alcançados no país quanto às ações de eficiência energética;
- Procel Selo: Criado no ano de 1993, representa um selo que é concedido aos equipamentos comercializados no Brasil que possuem eficiência quanto ao consumo de energia;
- Procel Edifica: Tem por objetivo auxiliar o desenvolvimento de ações de eficiência energética em edificações com base na Lei nº 10.295/2001 (Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia);
- Procel GEM - Gestão Energética Municipal: Tem por objetivo auxiliar às prefeituras municipais e demais esferas públicas governamentais a reduzir os custos relacionados ao consumo de energia elétrica;
- Procel Indústria: Fomentar ações de eficiência energética no setor industrial de pequeno, médio e grande portes, inserindo também o segmento comercial;
- Procel Reluz - Iluminação Pública Eficiente: Auxiliar no fomento de sistemas eficientes de iluminação pública;
- Procel Sanear - Saneamento Ambiental: Objetivo de promover ações de eficiência energética no setor de saneamento, assim como no gerenciamento do uso da água, visando à redução dos desperdícios.

Esses subprogramas alcançaram uma economia de energia de 21,2 bilhões de kWh no ano de 2017, evitando emissões de 1,965 milhão de tCO₂ equivalentes na atmosfera (ELETROBRAS, 2018).

O Programa Luz para Todos foi iniciado no ano de 2003, através do Decreto nº 4.873/2003, sendo concebido como um instrumento de inclusão social que tem por objetivo levar energia elétrica aos domicílios rurais. Esse programa foi estendido por vários anos, estando atualmente regido pelo Decreto nº 9.357/2018 onde prorroga esse programa até 2022 (BRASIL, 2018b).

Das políticas apresentadas no setor de energia, a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), regida pela Lei nº 13576/2017, é a mais recente. A RenovaBio tende, dentre outros objetivos, “contribuir com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, inclusive com mecanismos de avaliação de ciclo de vida” (BRASIL, 2017). No escopo da referida lei, como instrumentos destacam-se o Crédito de Descarbonização por Biocombustíveis (CBIO) e a Certificação dos Biocombustíveis.

O CBIO é um “instrumento registrado sob a forma escritural, para fins de comprovação da meta individual do distribuidor de combustíveis” (BRASIL, 2017). Esse registro pode ser realizado através da “Plataforma CBIO” que visa validar “notas fiscais eletrônicas dos produtores e importadores de biocombustíveis certificados junto à Receita Federal para fins de utilização como lastro para emissão de Créditos de Descarbonização (CBIOs)” (SERPRO, 2019). Enquanto que à Certificação dos Biocombustíveis refere-se a um “conjunto de procedimentos e critérios em um processo, no qual a firma inspetora avalia a conformidade da mensuração de aspectos relativos à produção ou à importação de biocombustíveis, em função da eficiência energética e das emissões de gases do efeito estufa, com base em avaliação do ciclo de vida” (BRASIL, 2017). Todos esses instrumentos visam incentivar a produção eficiente de biocombustíveis no Brasil, no intuito de atender às metas definidas no âmbito do Acordo de Paris.

Dentro deste contexto, destaca-se ainda o Projeto SUCRE (Sugarcane Renewable Electricity) e o Projeto PROBIOGÁS. O projeto PROBIOGÁS foi apresentado na seção 4.3.2.2 (Energia para água) e o projeto SUCRE refere-se à produção de energia elétrica, com baixa emissão de GEE, na indústria de cana-de-açúcar, utilizando a palha produzida durante a colheita (WALDHEIM *et al.*, 2008; CARDOSO, 2014; SUCRE, 2019). Este projeto foi desenvolvido pelo Laboratório Nacional de Biorrenováveis (LNBR) que integra o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (SUCRE, 2019).

Na mesma linha dos biocombustíveis, o governo passou a incentivar a expansão da capacidade produtiva de biodiesel com a elaboração do Programa Brasileiro de Biodiesel (Pró-Biodiesel), Portaria nº 720 instituída no ano de 2002, coordenado pelo Ministério da Ciência e Tecnologia. No ano de 2003, o programa Pró-Biodiesel foi direcionado para estudo de viabilidade de utilização de óleos vegetais para fins energéticos, o que resultou na criação da Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel (RBTB) e do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) (FREITAS & LUCON, 2011). Com isso, no ano de 2005, o biodiesel foi oficialmente inserido na matriz energética nacional, intitulada pela Lei nº 11.097/2005 (BRASIL, 2005).

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) foi criado “como ação estratégica e prioritária para o Brasil” (CASTRO, 2011). Esse programa visava a competitividade do biodiesel frente aos demais combustíveis e uma política de inclusão social, onde possibilitava a produção por diferentes oleaginosas com a participação tanto do agronegócio quanto da agricultura familiar (CASTRO, 2011; SOUZA *et al.*, 2015).

4.4.1.3 Política de recursos hídricos

A Política nacional de recursos hídricos, regida pela Lei nº 9433/1997, define a gestão das águas como descentralizado, participativo e integrado (BRASIL, 1997a). Abers & Jorge (2005) relatam que a implementação prática desta política nem sempre é eficiente por falta de capacitação técnica e administrativa das instituições locais e divergências de interesses políticos (ABERS & JORGE, 2005). Campos & Fracalanza (2010) acrescentam que a integração muitas vezes não ocorre em função das resistências dos próprios arranjos institucionais e seus respectivos atores, além de ter que superar os processos de negociações.

Atualmente, o setor de recursos hídricos compreende uma estrutura institucional inserida no Ministério de Desenvolvimento Regional (MDR), conforme descrito no item 4.2 (PARTE II, Figura 28). As principais políticas que compõem este setor incluem programas desenvolvidos por vários ministérios governamentais, sendo eles: (a) Programa Cisternas (PC) do Ministério do Desenvolvimento Social (MDS); (b) Programa Água Doce (PAD) do Ministério do Meio Ambiente (MMA); (c) Programa de Desenvolvimento de Recursos Hídricos para o Semiárido Brasileiro (PROÁGUA SEMIÁRIDO) do Ministério do Meio Ambiente (MMA); (d) Programa Nacional de Desenvolvimento dos Recursos Hídricos - (PROÁGUA NACIONAL) do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério da Integração Nacional (MI); (e) Programa de Desenvolvimento do Setor Água (INTERÁGUAS) do Ministério do Meio Ambiente (MMA) e Ministério da Integração Nacional (MI); (f) Programa Água Para Todos (PAT) do Ministério da Integração Nacional - MI; (f) Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Progestão) da Agência Nacional de Águas; dentre outros.

O Programa cisternas possui como objetivo a promoção do acesso à água para abastecimento humano e a produção agrícola através da utilização de tecnologias sociais de baixo custo. Criado no ano de 2003, o número de cisternas rurais construídas no semiárido alcançou 254.200 unidades até março de 2009 (EMBRAPA, 2009). A EMBRAPA (2009), após avaliar o Programa Cisternas quanto à sua implementação no semiárido, identificou presença de Coliformes Totais e de Escherichia col nas cisternas analisadas. A partir dessa avaliação, foram recomendados estudos de eficiência dos sistemas de eliminação automática das primeiras águas da chuva visando reduzir a contaminação por coliformes (EMBRAPA, 2009). Na maioria dos casos, observa-se uma tendência na ocorrência de problemas operacionais no sistema implantado, geralmente, após saída da equipe técnica de campo. Mostrando, com isso, a relevância das assistências técnicas, pelo menos no acompanhamento periódico por um determinado intervalo de tempo.

Semelhante ao Programa cisternas, o Programa Água Doce, lançado no ano de 2004, tem por objetivo disponibilizar água para abastecimento humano, porém, proveniente de poços subterrâneos (salobra e salina) acoplado a um sistema de dessalinização (Secretaria do Meio Ambiente/Governo da Bahia, 2019). Um dos maiores custos na implantação dos dessalinizadores está associado ao consumo de energia para realizar o processo. Visando sanar isso, passaram a desenvolver projetos pilotos de sistemas de dessalinização movidos por energia solar (DIANNI, 2015). Essa associação, desde então, só tem crescido no Nordeste brasileiro.

Também direcionado para região semiárida, o Proágua /Semiárido teve início no ano de 1998 e sua implementação se estendeu até o ano de 2006 quando iniciou o Proágua /Nacional, encerrado no ano de 2011. O Proágua teve por objetivo “apoiar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos no nível Estadual e a execução de infraestrutura hídrica” (MMA/MI/ANA/MCid, 2018). Os avanços no setor de recursos hídricos de vários Estados, localizados na região semiárida, ocorreram devido as iniciativas neste programa, como por

exemplo, o Piauí, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Paraíba e Sergipe (ANA, 2019g).

O Programa INTERÁGUAS é um contrato entre o Governo brasileiro com o Banco Mundial, executado no período de 2012 – 2018, sob a responsabilidade do Ministério do Meio Ambiente (MMA), Ministério da Integração Nacional (MI), Ministério das Cidades (MCid) e da Agência Nacional de Águas (ANA) (CGU, 2019). O programa teve por objetivo dar continuidade ao Proágua e ao Programa de Modernização do Setor Saneamento. Para isso, o INTERÁGUAS foi dividido em cinco componentes de trabalho: gerenciamento de recursos hídricos; água, irrigação e gestão de risco de desastres; abastecimento de água e saneamento; coordenação intersetorial e planejamento integrado; e gestão, monitoramento e avaliação do projeto (BANCO MUNDIAL, 2011). O INTERÁGUAS desenvolveu várias ações estratégicas no planejamento setorial e planos de conhecimento e aprendizado como, por exemplo, o Plano Nacional de Segurança Hídrica, o Atlas de despoluição de bacias hidrográficas, ou Atlas Esgotos, executado pela ANA e o Macrozoneamento Ecológico-Econômico da bacia hidrográfica do rio São Francisco, executado pelo MMA (MMA/MI/ANA/MCid, 2018).

No período que foi lançado o INTERÁGUAS, foi criado um ano antes, o Programa Água Para Todos (PAT), através do Decreto nº 7.535/2011. O PAT tem por finalidade “promover a universalização do acesso à água em áreas rurais para consumo humano e para a produção agrícola e alimentar, visando ao pleno desenvolvimento humano e à segurança alimentar e nutricional de famílias em situação de vulnerabilidade social” (BRASIL, 2011). As atividades desenvolvidas por este programa incluem (RUEDIGER *et al.*, 2018): cisterna para consumo (Reservatórios com capacidade para 16.000 litros para captação de água pluvial); cisterna para agricultura; sistemas coletivos de abastecimento de água; barreiros ou pequenas barragens (pequenas contenções para captação de água da chuva); kits de irrigação (conjunto de equipamentos para a irrigação como bomba, mangueira, dentre outros); barragens subterrâneas; e aberturas de poços.

O Progestão foi regulamentado por meio da Resolução ANA nº 379/2013. Trata-se de um programa desenvolvido pela Agência Nacional de Águas para apoiar os Sistemas Estaduais de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SEGREGs), tendo como objetivos: “Promover a efetiva articulação entre os processos de gestão das águas e de regulação dos seus usos, conduzidos nas esferas nacional e estadual; e fortalecer o modelo brasileiro de governança das águas, integrado, descentralizado e participativo” (ANA, 2019j).

Outra política que se destaca no setor de recursos hídricos é o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (PAN - Brasil) do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2005) regido pela Lei nº 13.153/2015, composto por quatro eixos centrais: combate à pobreza e à desigualdade; ampliação sustentável da capacidade produtiva; preservação, conservação e manejo sustentável de recursos naturais; e gestão democrática e fortalecimento institucional (MMA, 2005).

Síntese dos planos e programas setoriais

Este item apresenta uma sintetização das principais políticas públicas identificadas no Brasil (Tabela 29) considerando o ano de lançamento dessas políticas, a situação atual e a classificação quanto às suas interferências nos segmentos de água, energia e agricultura.

Importante ratificar que a análise realizada neste capítulo considerou apenas as interferências que a implementação desses programas tendem a promover nos setores de água, energia e agricultura, tanto em termos de consumo de recursos quanto em termos de impacto (análise qualitativa). Diante disso, os programas correspondentes ao setor de energia foram analisados

mediante suas interferências (direta e indireta) nos setores de água e agricultura; os programas correspondentes ao setor de agricultura foram analisados mediante suas interferências (direta e indireta) nos setores de água e energia, assim, sucessivamente. As investigações das interferências foram feitas com base em consultas documentais de cada programa, principalmente, enfatizando suas propostas e objetivos.

Não foi considerado nessas análises investigações quanto à eficácia das políticas setoriais em campo e a quantificação dessas interferências. Para isso, recomenda-se estruturar pesquisas com esse objetivo através da aplicação de questionários, entrevistas, desenvolvimento de grupo focal ou outros métodos que auxiliem levantar informações quanto à aplicabilidade dessas políticas frente aos beneficiários dos programas.

Tabela 29: Síntese dos planos e programas governamentais dos setores de água-energia-agricultura

Setor	Planos e programas setoriais	Início de implantação	Situação atual	Nível de interferência com outros setores	Setor de maior interferência (água, energia ou agricultura)
Agrícola	Seguro rural	1966	Ativo	Nenhuma	-
	Proagro	1973	Ativo	Nenhuma	-
	Pronaf	1996	Ativo	Alta	Água e energia
	Pronamp	1996	Ativo	Média	Água e energia
	Moderfrota	2000	Ativo	Média	Energia
	Moderinfra	2001	Ativo	Alta	Água e energia
	Moderagro	-	Ativo	Alta	Água e energia
	Prodecoop	2003	Ativo	Alta	Água e energia
	ABC	2010	Ativo	Alta	Água e energia
	PCA	-	Ativo	Média	Água e energia
	Inovagro	2013	Ativo	Alta	Água e energia
Energia	Procel	1985	Ativo	Alta	Água e agricultura
	Proinfra	2002	Ativo	Média	Água
	Luz para Todos	2003	Ativo	Baixa	Água
	RenovaBio	2017	Ativo	Alta	Água e agricultura
	PNPB	2003	Ativo	Alta	Água e agricultura
Água	Proágua Semi-Árido	1998	2006	Alta	Energia e agricultura
	PC	2003	Ativo	Média	Agricultura
	PAD	2004	Ativo	Média	Energia
	Proágua Nacional	2006	2011	Alta	Energia e agricultura
	PAT	2011	Ativo	Média	Agricultura
	INTERÁGUAS	2012	2018 - 2019	Alta	Energia e agricultura
	Progestão	2013	Ativo	Alta	Energia e agricultura

Fonte: Próprio autor com base em Brasil (2002), EMBRAPA (2009), Banco Mundial (2011), Brasil (2011), Medeiros & Padilha (2014), Eletrobras (2018), MAPA (2019), CNA (2019), Eletrobras (2019)

Como pode ser observado na Tabela 29, o Seguro rural e o Proagro não possuem interferências nos demais setores em análise. Isso ocorre porque o seguro rural representa um auxílio financeiro ao produtor em situações de risco agropecuário e o Proagro implica na exoneração do pagamento do crédito rural em situações adversas. Logo, ambos os programas não possuem impacto nos setores de água e energia. Existe a possibilidade desses programas interferirem indiretamente nesses setores desde que o apoio financeiro seja utilizado, por exemplo, para recuperação do solo ou implantação de técnicas de melhoramento da produção. Por representar uma subjetividade inerente na decisão sobre o destino dos recursos financeiros, esses programas foram classificados como “nenhuma interferência”.

O Pronaf, direcionado para agricultura familiar, possui várias linhas de investimento, podendo citar o Pronaf Agroindústria; Pronaf Floresta; Pronaf Semiárido; Pronaf Mulher; Pronaf

Custeio de Agroindústria Familiar; Pronaf Agroecologia; dentre outros. Como pode-se perceber, praticamente todas as linhas desses programas possuem um nível de relação com os segmentos de água e energia. Com isso, implementá-los, automaticamente irá interferir nos segmentos em questão. De forma mais significativa, o Pronaf Agroecologia e o Pronaf Agroindústria possuem interferências diretas nesses segmentos.

O Pronamp, pelo fato de possibilitar investimentos na aquisição de sementes, fertilizantes e defensivos, possui relação indireta com os setores de água e energia atrelado ao consumo desses recursos em suas cadeias produtivas, logo, implica em interferências indiretas, mas significativas, em ambos os setores mencionados. Quanto maior o consumo de fertilizantes e defensivos, maior será a energia incorporada aos produtos agropecuários, conforme já apontado por Melo *et al.* (2007) e Veiga *et al.* (2015).

O Programa Moderfrota detém relação direta com o setor de energia e indireta com o setor de recursos hídricos. No primeiro caso, os maquinários agrícolas necessitam de combustível para seu funcionamento. Enquanto que no segundo caso, os maquinários consomem água em sua cadeia de produção que está estimada em aproximadamente 2,2 à 9,7 m³ de água por unidade de maquinário fabricado (FBB/MMA/FUNARBE, 2011), conforme já visto na seção 4.3.1.1. O aumento no consumo de energia por maquinários aumenta também a energia incorporada aos produtos agrícolas, como visto por Melo *et al.* (2007) e Veiga *et al.* (2015) através de experimentos realizados no Brasil. Com os avanços alcançados no setor agrícola brasileira associado aos avanços do setor de energia do país, tem-se aperfeiçoado a relação do uso de biocombustíveis em maquinários agrícolas com a finalidade de reduzir os custos para os produtores e ao mesmo tempo reduzir emissões de gases provenientes da atividade da agricultura (SORANSO *et al.*, 2008). Incentivos governamentais para utilização de biocombustíveis nas redes de maquinários agrícolas, tende a auxiliar produtores a trabalharem com esse fomento.

O programa Moderinfra, por envolver investimentos na agropecuária irrigada, está associado diretamente ao consumo de água e energia necessários para o funcionamento de sistemas de irrigação. Esse programa pode ser utilizado para incentivar cada vez mais a utilização de sistemas de irrigação com maior eficiência hídrica e energética.

Na mesma linha de tecnologia do Moderinfra, o Moderagro possibilita investimentos para modernização do agronegócio e permite promover projetos de recuperação do solo, como por exemplo, incorporação de corretivos. Alguns projetos de investimento incluem a geração de energia alternativa à eletricidade convencional; suprimento de água; aquisição de máquinas, motores, equipamentos e financiamento de fertilizantes, corretivos, defensivos agrícolas ou sementes (MAPA, 2019; BADESUL, 2019). Considerando os principais objetivos deste programa, observam-se interferências diretas nos setores de recursos hídricos e de energia.

Da mesma forma, ocorre na classificação do programa Prodecoop, voltado para as cooperativas do setor. Dentre seus projetos de financiamento, incluem a implementação de sistemas para geração e cogeração de energia e linhas de ligação para consumo próprio inserido em projetos agroindustriais; implementação de sistemas de tratamento de efluentes e de projetos de adequação ambiental, inclusive reflorestamento; e implantação de fábrica de rações e de fertilizantes (MAPA, 2019; BADESUL, 2019). Existem várias outras linhas de financiamento desse programa, porém, apenas com os três pontos levantados, observa-se sua interferência direta nos setores de água e energia.

Na linha de produção sustentável, o Plano ABC envolve adoção de tecnologias de produção sustentável na agricultura para redução das emissões de GEE. Neste caso, os setores de água e energia integram essas ações diretamente por englobar à eficiência energética e hídrica nos

processos produtivos. Diferentemente do Plano ABC, o programa PCA é um investimento direcionado apenas para projetos de ampliação e/ou construção de armazéns. Neste caso, pode-se apontar uma interferência indireta no consumo de água e energia em detrimento da matéria-prima, equipamentos e mão-de-obra necessária para ampliação e/ou construção da estrutura. A depender da dimensão da estrutura, o consumo pode ser alto, médio ou baixo.

O programa Inovagro, voltado para investimento em inovação tecnológica em propriedades rurais, possui objetivos que incluem serviços de agricultura de precisão; automação; assistência técnica; aquisição de material genético; dentre vários outros (MAPA, 2019; BADESUL, 2019). Logo, isso implica em interferências nos setores de água e energia de forma direta, em especial, se os investimentos forem direcionados para os objetivos apontados. Deve-se lembrar que agricultura de precisão está associada à utilização de tecnologias avançadas que consequentemente, remetem ao consumo de água e energia, seja ela, baixa ou alta.

Para as políticas públicas do segmento energético, observa-se que os programas Procel e RenovaBio possuem alta interferência nos setores de água e energia. A Procel, auxilia em projetos de eficiência energética em vários sub-setores como saneamento, indústria e edificações. Eficiência energética implica na redução do consumo de energia. Automaticamente, redução no consumo de energia remete à redução no consumo de água devido suas correlações. De forma semelhante com a relação apontada anteriormente, o Programa Luz para Todos possui interferências indiretas no setor de recursos hídricos. Quanto ao RenovaBio, que tem por finalidade a expansão da produção de biocombustíveis no Brasil, pode-se perceber uma alta relação com os setores de água e energia em detrimento da necessidade desses recursos para produção de culturas energéticas.

O Proinfa visa incentivar o aumento da participação de energias alternativas na matriz brasileira. Das energias alternativas, destacam-se a biomassa, eólica e PCH. A biomassa implica em consumo de água e energia no processo produtivo, conforme mencionado anteriormente, e a PCH é altamente dependente dos recursos hídricos no processo de geração de energia, além de interferir diretamente em outros setores através do sistema de alocação de água.

O PNPB foi classificado como alta inter-relação com os setores de água e agricultura uma vez que o biodiesel é derivado de biomassa renovável (BRASIL, 2005), sendo sua produção oriunda da atividade agrícola. Atividade agrícola utiliza água, energia, e outros insumos em seu ciclo produtivo.

No setor de recursos hídricos, o Proágua Semi-árido auxiliou muitos Estados a avançarem na gestão das águas. O Programa é baseado em agroecossistemas estratégicos com finalidades principais de desenvolver estudos e projetos; infraestrutura hídrica (obras); gerenciamento; e uso racional da água (MI, 2005). Por seus objetivos, esse programa pode ser classificado com alta interferência nos setores de agricultura e energia por envolverem todo sistema econômico de desenvolvimento de zonas semiáridas, incluindo, atividades agrícolas e de infraestruturas hídrica, sendo que ambas as atividades necessitam de energia para concretização. Da mesma forma, se aplica para o Proágua Nacional.

O Programa Água Para Todos possui interferência direta no setor agrícola por envolver a construção de cisternas tanto para abastecimento humano quanto para atender demandas da agricultura irrigada. Enquanto que o Programa “Água Doce” possui uma grande interferência no setor de energia por abranger a implantação de dessalinizadores integrado à captação de água subterrânea. O INTERÁGUAS tem como principais linhas de trabalho, a gestão dos recursos hídricos, água, irrigação, defesa civil, e abastecimento de água e saneamento (ANA,

2019). Considerando esses objetivos, observa-se sua ligação direta com o setor agrícola, e consequentemente, direta com o setor de energia por remeter ao seu consumo em sistemas de irrigação, abastecimento de água e saneamento.

O Progestão, por estar associado ao incentivo de ações de fortalecimento institucional, gerenciamento e articulação do setor de recursos hídricos com seus múltiplos usos, possui relação direta com os setores de agricultura e energia por serem inseridos como usuários de água. A Figura 69 traz uma exemplificação da classificação as políticas setoriais analisadas nesta seção.

Figura 69: Resumo da classificação dos principais planos e programas governamentais

Alta inter-relação	Pronaf	ABC	PNPB	Procel	Progestão	PROÁGUA NACIONAL
	Moderinfra	Inovagro		RenovaBio	INTERÁGUAS	PROÁGUA SEMIÁRIDO
	Moderagro	Prodecoop				
Média inter-relação	Pronamp		Proinfra	PAD	PAT	
	Moderfrota	PCA			PC	
Baixa inter-relação			Luz para Todos			
Nenhuma inter-relação	Proagro	Seguro rural				
	Agricultura		Energia		Água	

■ Inativo
■ Ativo

Fonte: Próprio autor

Legislações Federais dos setores de água-energia-agricultura

Neste item estão expostas as principais legislações Federais integrantes dos setores de água, energia e agricultura presentes no Brasil. Das legislações apresentadas na Tabela 30, apenas as de caráter regulador foram consideradas para aplicação da metodologia de classificação (seção 4.4.2). Neste caso, a Lei nº 9.991/2000, por referir-se a investimentos em pesquisas de eficiência energética exclusivamente por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica não cabe sua investigação quanto à integração com outros setores. Da mesma forma, ocorre com as leis: nº 10.438/2002 (expansão da oferta de energia elétrica emergencial); nº 10.848/ 2004 (comercialização de energia elétrica); nº 13.280/2016 (questões econômicas para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética); nº 10.823/2003 (questões econômicas intrínsecas no seguro rural); nº 11.105/2005 (trata especificamente sobre PNB); e nº 11.346/2006 (segurança alimentar e nutricional); nº 12.188/2010 (estabelece especificamente os beneficiários da agricultura familiar e seus princípios).

A Política Nacional de Segurança de Barragens (Lei nº 12.334/2010) apesar de compor o setor de recursos hídricos e representar um marco regulatório no segmento de barragens, não foi contemplada na aplicação da metodologia por estar direcionada para assuntos muito específicos associados à segurança da estrutura do barramento e seus danos potenciais associados, como por exemplo, altura do maciço, capacidade do reservatório, fiscalização,

instrumentos de auscultação de monitoramento, dentre outros. Logo, as legislações selecionadas para aplicação da metodologia estão apontadas pelas siglas descritas na Tabela 30.

Tabela 30: Principais legislações de âmbito Federal presente nos setores de água, energia e agricultura.

Setores	Marco Legal	Sigla
Água e saneamento	Lei nº 9433/1997 – Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH)	P1
	Lei nº 11.445/2007 - Saneamento básico	P2
	Lei nº 12.334/2010 - Política Nacional de Segurança de Barragens	-
	Lei nº 13.153/2015 - Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca	P3
Energia	Lei nº 9.478/1997 - Política Energética Nacional, as atividades relativas ao monopólio do petróleo, institui o Conselho Nacional de Política Energética e a Agência Nacional do Petróleo - Alterada pela Lei nº 12.490/2011	P4
	Lei nº 9.991/ 2000 - Dispõe sobre realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica – Alterada pela Lei nº 13.280/2016	-
	Lei nº 10.295/2001 - Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia	P5
	Lei nº 10.438/2002 - Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa), a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE), dispõe sobre a universalização do serviço público de energia elétrica – Alterada pela Lei nº 11.075/2004.	-
	Lei nº 10.848/ 2004 – Comercialização de energia elétrica	-
	Lei nº 13.280/2016 - Disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética	-
	Lei nº 13.576/2017 - Política Nacional de Biocombustíveis	P6
	Lei nº 11.097/2005 - Introdução do biodiesel na matriz energética. Alterada pela Lei nº 13.033 de 24/ 2014.	P7
Agricultura	Lei nº 8.171/1991 - Política Agrícola	P8
	Lei nº 10.823/2003 - Dispõe sobre a subvenção econômica ao prêmio do Seguro Rural	-
	Lei nº 11.105/2005 - Política Nacional de Biossegurança – PNB	-
	Lei nº 11.346/2006 - Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional – SISAN	-
	Lei nº 12.787/2013 - Política Nacional de Irrigação. Alterada pela Lei nº 13.702/2018	P9
	Lei nº 12.188/2010 - Institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária	P10
	Lei nº 11.326/2006 - Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais.	-

Fonte: Próprio autor

Observa-se que existem legislações que foram formuladas em diferentes períodos de tempo. As legislações regulatórias (política de recursos hídricos, política energética e política agrícola) de cada setor datam períodos mais antigos, algumas passaram por reformulações como a política energética, outras permanecem com o mesmo escopo até os dias atuais. As políticas mais atuais foram formuladas para suprir demandas particulares, podendo citar a Política Nacional de Biocombustíveis (Lei nº 13.576/2017) que foi estabelecida para “contribuir para o atendimento aos compromissos do país no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima” (BRASIL, 2017). Essa política corresponde ao período mais atual, dentre as legislações levantadas na Tabela 30, em conjunto com a Lei nº 13.702/2018 que altera a lei nº 12.787/2013.

Apesar das resoluções, normas e decretos não terem sido contemplados nas análises, importante mencionar a Resolução nº 3 de 10 de agosto de 2010 por representar a primeira legislação conjunta entre a ANA e a ANEEL. Essa Resolução teve por objetivo o estabelecimento de “procedimentos para instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas visando ao monitoramento pluviométrico, limnimétrico, fluviométrico, sedimentométrico e de qualidade da água associado a aproveitamentos hidrelétricos” (ANEEL/ANA, 2010). Esse acordo conjunto entre as duas instituições representa um marco histórico na possibilidade de integrar setores distintos em prol de um mesmo objetivo.

Analisando um aspecto central entre todas as legislações levantadas na Tabela 30 é possível apontar suas associações com o setor de meio ambiente. No setor de agricultura, por exemplo, por representar uma atividade econômica de potencial impacto nos ecossistemas, as políticas regulatórias deste setor possuem intrínseca relação com a Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981); lei de Crimes Ambientais (nº 9.605/1998); Código Florestal (Lei nº 12.727/2012) e com a Política Nacional sobre mudança climática (Lei nº 12187/2009). Associações semelhantes são conduzidas para as políticas do setor de energia e recursos hídricos.

Muitos programas governamentais e legislações relatadas nesta seção possuem certo grau de interligação com mais de um setor do país. Com a finalidade de averiguar o nível de integração entre eles, assim como a existência de prováveis *links* com as características presentes no conceito nexus, foi conduzida a aplicação da metodologia (Capítulo 3, seção 3.3.2 Parte III/b) para as principais legislações regulatórias dos setores de água, energia e agricultura (Tabela 30), conforme traz o item 4.4.2.

4.4.2 Aplicação da metodologia de classificação das legislações setoriais

A Tabela 31 traz os resultados referentes ao *Checklist* e a classificação das legislações regulatórias. Conforme pode-se observar, as políticas avaliadas mostraram classificações semelhantes, de baixa à muito baixa inter-relação com os critérios de caracterização do conceito nexus, com exceção da Política de irrigação (P9) que apresentou a mais alta pontuação, sendo classificada como média inter-relação. Nenhuma legislação analisada obteve pontuação acima de nove critérios.

A política Nacional de conservação e uso racional de energia (P5) e a política agrícola (P8) se destacaram por apresentarem as menores pontuações, somente dois critérios presentes em seus escopos, seguido pela Política da Água (P1) com três critérios atendidos, sendo todos eles pertencentes ao seu próprio segmento, “conservação e uso racional da água (C2)”, “recursos hídricos sem dissociação entre quantidade e qualidade (C4)” e “integração com a política de meio ambiente”.

Quanto a integração entre as políticas regulatórias, pôde-se perceber que a política de irrigação, referente ao setor agrícola, foi a única que preconizou integração com mais de duas políticas setoriais, sendo elas, as políticas de energia, recursos hídricos, saneamento e meio ambiente.

Para a P1, não foram identificados associações com a política energética e com a política agrícola. Importante ressaltar que a atividade agrícola e a geração de energia, na política de recursos hídricos, são consideradas como usuários de água, bem como atividades de mineração, indústria, dentre outras. Portanto, qualquer menção a essas atividades é descrita no contexto de “usuários”, como pode ser visto em seu artigo 3, item IV: “Constituem diretrizes gerais de ação para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos a articulação do

planejamento de recursos hídricos com o dos setores usuários e com os planejamentos regional, Estadual e Nacional”(BRASIL, 1997a).

Fazendo uma análise comparativa das políticas de recursos hídricos e demais políticas regulatórias setoriais, pôde-se perceber que para o setor da água, a política de desertificação (P3) obteve maior correlação com o conceito nexus que a própria política da água (P1) e de saneamento (P2). Assim como no setor agrícola, a política de irrigação (P9) possui maior integração entre os critérios em análise que a própria política agrícola (P8). No caso do setor de energia, a política energética (P4) e a política de biocombustíveis (P6) obtiveram a mesma quantidade de critérios atendidos em seus documentos.

Tabela 31: Matriz de classificação das políticas setoriais referente aos critérios definidos mediante o conceito nexus

Setor	Critérios	Água			Energia				Agricultura		
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
Água	C1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	C2	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	C5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	C6	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
Total		3	3	4	0	0	0	0	1	3	1
Classificação individual											
Energia	C7	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
	C8	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
	C9	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	C10	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0
	C11	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	C12	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Total		0	1	1	4	2	3	2	0	2	0
Classificação individual											
Agricultura	C13	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
	C14	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	C15	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
	C16	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
	C17	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
	C18	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Total		0	0	3	0	0	1	0	1	4	3
Classificação individual											
Total		3	4	8	4	2	4	2	2	9	4
Classificação conjunta											

Fonte: Próprio autor. **C1**: Segurança hídrica; **C2**: Conservação e uso racional da água; **C3**: Relação integrada entre água superficial e água subterrânea; **C4**: Recursos hídricos sem dissociação entre quantidade e qualidade; **C5**: Eficiência hídrica; **C6, C12, C18**: Integração entre políticas e integração com a política de meio ambiente; **C7**: Segurança Energética; **C8**: Conservação e uso racional de energia; **C9**: Mitigação de emissões de gases; **C10**: Aumento de fontes de energia renováveis na matriz energética; **C11**: Eficiência energética; **C13**: Segurança alimentar; **C14**: Uso de fontes de água não convencional; **C15**: Aumento de fontes alternativas de energia nos processos; **C16**: Produções mais sustentáveis; **C17**: Eficiência no uso de insumos nos processos produtivos.

Um ponto central entre todas essas políticas, conforme mencionado anteriormente, refere-se às associações com o meio ambiente em seus documentos, sendo na maior parte dos casos, citações voltadas para a sustentabilidade dos recursos naturais e preservação ambiental. Na política energética (P5), por exemplo, o meio ambiente é apontado no capítulo I nos objetivos e princípios “proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia” (BRASIL, 1997b). Enquanto que na política de água (P1), o meio ambiente está inserido como uma de suas diretrizes “integração da gestão dos recursos hídricos à gestão ambiental” (BRASIL, 1997a). Na política agrícola, há uma alta frequência de citação do meio ambiente, podendo destacar: nos objetivos “proteger o meio ambiente, garantir seu uso racional e estimular a recuperação dos recursos naturais”; como um de seus instrumentos “proteção ambiental, conservação e recuperação de recursos naturais”; e como membro do Conselho Nacional de Política Agrícola.

Diante da classificação realizada, foi possível perceber um grande distanciamento entre os descritivos das políticas analisadas. Mesmo alcançando este resultado, em muitos casos, realizar apenas alterações nessas políticas já tenderia a aumentar o nível de integração entre elas e também, com o conceito nexus. Para ocorrer estas alterações são necessários principalmente engajamento político e agilidade dos processos burocráticos. Os maiores desafios que circundam as mudanças necessárias para uma melhor articulação dos setores econômicos não são as alterações nas políticas, mas sim, a necessidade de reestruturação das institucional, mudanças sociocultural e aceitação dos atores estratégicos públicos e privados.

Visando auxiliar nesta linha de discussão, além da classificação apontada na Tabela 31, foi realizado o levantamento dos principais pontos fortes e fracos das políticas setoriais, conforme traz a Tabela 32.

Tabela 32: Principais pontos fortes e pontos fracos das políticas setoriais quanto ao contexto nexus

Setor	Política	Principais pontos fortes	Principais pontos fracos
Água	P1	Preconiza: o uso racional e integrado dos recursos hídricos com vistas ao alcance do desenvolvimento sustentável; gestão participativa com todos os usuários de água; incentiva a captação de água da chuva como fonte de água; gestão sem dissociação entre quantidade e qualidade da água; integração com outras políticas como a de saneamento básico, de uso, ocupação e conservação do solo e de meio ambiente com as políticas federal e estaduais de recursos hídricos, e com políticas de setores usuários.	Não explicita: relações entre água subterrânea e água superficial no sistema de gestão; o desenvolvimento tecnológico para alcance da eficiência hídrica; reúso de água ou utilização de fontes não convencionais para aumentar a segurança hídrica no atendimento às suas demandas; e apresenta uma fraca associação com as demais políticas setoriais.
	P2	Preconiza e estimula o uso eficiente da água no desenvolvimento e aperfeiçoamento de equipamentos sanitários, operação dos processos e no contexto geral do setor e incentiva o uso de tecnologias modernas e eficientes, compatíveis com os níveis exigidos de qualidade, continuidade e segurança na prestação dos serviços.	A política trata de uso eficiente de energia somente nos casos de serviços prestados mediante contratos de concessão ou de programa, e não no contexto geral do setor (transporte, tratamento, destinação, equipamentos, etc.); o reúso só é preconizado na área de resíduos sólidos; na área de efluentes domésticos não é definido; não possui associação com outras políticas; e não fomenta a atualização periódica dos bancos de informações do setor visando auxiliar no gerenciamento de resíduos sólidos e efluentes domésticos.
	P3	Forte relação com o meio ambiente e uso do solo através do incentivo para o uso sustentável dos recursos naturais e forte relação com o setor agrícola ao incentivar a agricultura familiar, em bases ambientalmente sustentáveis, apoiar sistemas de irrigação socioambientalmente sustentáveis em áreas que sejam aptas para a atividade, levando em consideração os processos de salinização, alcalinização e degradação do solo, fomentar a sustentabilidade ambiental da produção, incluindo ecoagricultura, silvicultura e sistemas agroflorestais, com a diversificação e o beneficiamento da produção na origem, além de incentivar a prática de uso eficiente e reúso da água na modalidade agrícola e florestal nas áreas susceptíveis à desertificação. Preconiza: a segurança ambiental, alimentar, hídrica e energética nas áreas susceptíveis à desertificação.	Não possui inter-relação com a política energética ou qualquer outro fator associado ao setor de energia.
Energia	P4	Incentivos no uso de energias renováveis, em especial, biomassa e de subprodutos da produção de biocombustíveis para geração de energia elétrica, em razão do seu caráter limpo, renovável e complementar à fonte hidráulica e uso de biocombustíveis no setor de transportes visando mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes; e incentivar avanços no uso de gás natural.	Não possui inter-relação com o setor de recursos hídricos. Neste caso, em função do setor de energia ser um consumidor e altamente dependente da água, em especial em algumas tipologias, deveria ter em sua política integração com este segmento, já que riscos no setor de água implicam em riscos no setor de energia. De forma semelhante, a política de energia não apresenta inter-relação com o setor agrícola. Isso implica também em riscos para seu segmento, uma vez que às bioenergias dependerem da atividade de agricultura. Além desses pontos, essa política não trata de eficiência energética.
	P5	Própria existência de uma lei que preconiza a eficiência energética e seu uso racional.	Descreve a eficiência energética apenas nas máquinas e aparelhos consumidores de energia, projetistas e construtores de edificações, consumidores, instituições de ensino e pesquisa e demais entidades interessadas. Deixa em aberto outras atividades associadas ao consumo de energia.

Tabela 32: Continuação

Setor	Política	Principais pontos fortes	Principais pontos fracos
Energia	P6	Preconiza o papel estratégico dos biocombustíveis na matriz energética nacional, a eficácia dos biocombustíveis em contribuir para a mitigação efetiva de emissões de gases causadores do efeito estufa e de poluentes locais e a eficiência energética.	Apesar do setor de biocombustíveis possuir forte dependência com o setor de recursos hídricos e agrícola, sua política não apresenta inter-relação com ambos setores.
	P7	Explicita a participação dos biocombustíveis na matriz energética nacional; apresenta alteração na Lei 9478/1997, onde traz “boas práticas de conservação e uso racional do petróleo, gás natural, seus derivados e biocombustíveis e de preservação do meio ambiente”.	Não explicita nenhuma relação com outras políticas, apenas com a política energética. Não traz qualquer menção às formas de produção sustentável do biodiesel; fomento de fontes de água não-convencional ou uso de energias alternativas em seus processos produtivos. Política altamente dissertativa de seu setor.
Agricultura	P8	Integração com um dos fundamentos básicos da Política de recursos hídricos: As bacias hidrográficas constituem-se em unidades básicas de planejamento do uso, da conservação e da recuperação dos recursos naturais. Integração com princípios da Política de desertificação: promover e/ou estimular a recuperação das áreas em processo de desertificação. De forma geral, preconiza a proteção do meio ambiente, conservação dos recursos naturais, uso racional do solo, da água, fauna e flora, além de incentivar os programas de desenvolvimento científico e tecnológico e programas de preservação de nascentes e aproveitamento de dejetos animais para conversão em fertilizantes.	Não possui inter-relação com a política energética. A política agrícola não preconiza em seu escopo produções sustentáveis na agricultura, como o fomento de sistemas agroecológicos ou sistemas de irrigação eficientes em termos de consumo de água e energia. Não incentiva o uso de energias renováveis, como solar e eólica, nos sistemas agrícolas e utilização de fontes não convencionais de água como reuso, água proveniente de processos de dessalinização e captação da água da chuva.
	P9	Explicita: a produção agrícola ambientalmente sustentável; integração com as políticas setoriais de recursos hídricos, de meio ambiente, de energia, de saneamento ambiental, de crédito e seguro rural e seus respectivos planos, com prioridade para projetos cujas obras possibilitem o uso múltiplo dos recursos hídricos; o uso e manejo sustentável dos solos e dos recursos hídricos destinados à irrigação.	Não apresenta incentivos relacionados ao uso de fontes de água não convencional ou fontes de energias alternativas no sistema de irrigação, como eólica e solar. Na infraestrutura de irrigação não incentiva a redução de perdas nos processos de produção, colheita, armazenamento e distribuição.
	P10	A lei apresenta uma forte relação com a preservação ambiental, definindo como princípios a “adoção dos princípios da agricultura de base ecológica como enfoque preferencial para o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis”, e como principais objetivos, o desenvolvimento rural sustentável e a prática de ações voltadas ao uso, manejo, proteção, conservação e recuperação dos recursos naturais, dos agroecossistemas e da biodiversidade.	Não possui relação com o setor de energia e muito baixa relação com o setor de recursos hídricos. Os princípios e objetivos definidos na lei não faz menção às fontes de água não convencional ou fontes alternativas de energia como por exemplo, o biogás (proveniente de biodigestor de resíduos agropecuários) e energias solar e eólica.

Fonte: Próprio autor. **P1:** Política Nacional de Recursos Hídricos; **P2:** Política Nacional de Saneamento básico; **P3:** Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca; **P4:** Política Energética Nacional; **P5:** Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia; **P6:** Política Nacional de Biocombustíveis; **P7:** Introdução do biodiesel na matriz energética; **P8:** Política Agrícola; **P9:** Política Nacional de Irrigação; **P10:** Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural para a Agricultura Familiar e Reforma Agrária.

4.4.2.1 Discussão

Como observado, as legislações analisadas apresentam uma baixa inter-relação com os critérios abordados no conceito nexus. Esse resultado pode estar associado com o histórico de estruturação institucional do país e sua influência política na proposição de seus planos, regulamentos, projetos e ações setoriais.

Além desse aspecto, é importante destacar a falta de integração entre as próprias políticas regulatórias. Cada política tende a se concentrar apenas em seu setor e não abrange a comunicação direta com outras políticas. A falta de integração entre elas e o baixo número de critérios incluídos em seus documentos mostra que, para que o conceito nexus seja implementado nos modelos de gestão e planejamento, é necessário uma reestruturação das legislações regulatórias setoriais, em especial, a política de recursos hídricos, política energética e política agrícola. Essa reestruturação pode ser realizada por meio de alterações nas leis, não necessitando a elaboração de uma nova legislação.

Políticas que datam períodos mais antigos, década de 90, por exemplo, precisam ser revistas para acompanhar os avanços que vem ocorrendo ao longo do tempo nos sistemas de gestão. Legislações que datam períodos mais atuais, como por exemplo, a política de irrigação (elaborada no ano de 2013 e alterada no ano de 2018) e a política de desertificação (promulgada no ano de 2015), tendem a possuir maior integração e maior correlação com o conceito nexus. Porém, nem sempre essa relação prevalece, existem algumas exceções como no caso da política de biocombustíveis, promulgada no ano de 2017, que recebeu a mesma classificação que a política agrícola promulgada em 1991.

A grande questão em integrar as políticas regulatórias remete ao fato que em termos práticos, as atividades desenvolvidas nos setores de saneamento, agricultura e energia também tendem a ser integrados por serem regidos por essas políticas. Desta forma, almeja-se que os processos decisórios, investimentos e ações sejam desenvolvidos em conjunto, sempre que possuírem um ponto de interseção entre eles. Neste sentido, programas e ações implementadas em um setor, automaticamente, remetem em ganhos para outros setores correlacionados desde que sejam contabilizados os trade-off e os riscos inerentes no processo. Isso implica em melhor direcionamento de investimentos com redução dos desperdícios de verbas públicas, maximização de sinergias, fortalecimento de sistemas de governança e internalização dos impactos sociais e ambientais (RASUL & SHARMA, 2016; PARDOE *et al.*, 2017; STEPHAN *et al.*, 2018; ALBRECHT *et al.*, 2018).

Considerando os pontos levantados, estima-se uma maior aproximação entre as políticas e os órgãos gestores de água, energia e agricultura. Em modelos de gestão onde os setores apresentam-se fragmentados, como no caso do Brasil e dos países da América Latina e do Caribe (EMBED & MARTÍN, 2018), observam-se avanços quanto à aproximação entre os diferentes setores, quando se trata de demandas conjuntas, interferência de preços, tecnologias e restrições de recursos (BHADURI *et al.*, 2015). Essas interdependências e efeitos de *feedback* tornaram-se ainda mais intensos quando influenciados pelo comércio, como tem-se visto sucessivamente nas oscilações dos preços conjuntos de commodities agrícolas e nos preços da energia (BHADURI *et al.*, 2015) atrelado às crises na disponibilidade hídrica.

Com essas interferências conjuntas entre múltiplos setores, o conceito nexus ganha cada vez mais atenção pela necessidade do conhecimento integrado para melhor planejar e gerir os recursos (BHADURI *et al.*, 2015; GALLAGHER *et al.*, 2016; ROIDT & AVELLÁN, 2019). Para Gallagher *et al.* (2016), os incentivos à ação conjunta são mais fortes quando o risco não pode ser gerenciado ou mitigado por um único setor.

Por exemplo, pode-se citar o completo ineditismo que o Brasil vem passando, nos últimos anos, associado às grandes incertezas em função das crises hídricas que têm avançado por várias regiões, além dos consecutivos conflitos políticos e econômicos no âmbito nacional com reflexos em toda sociedade. Grande parte do suprimento de água do país é armazenada em reservatórios. Os níveis e a operação dos reservatórios se tornam os principais moderadores nos serviços de energia, alimentação e água. Baixos índices pluviométricos, degradação das bacias hidrográficas, aumento das demandas e má governança da água, são fatores que, em conjunto, tem promovido o esvaziamento da maioria dos reservatórios. As conseqüências desse cenário de crise são alarmantes, com impacto direto na geração e comercialização de energia, produção de alimentos, abastecimento humano para algumas localidades do país, onde a crise se mostrou mais acentuada, manutenção de ecossistemas e na economia em geral. Essa situação tem questionado gestores sobre as reais causas desses problemas e os direcionamentos a serem tomados, visando estabilizar esse cenário de completa insegurança.

Cenários de inseguranças tende a aproximar os setores que compartilham o uso de recursos naturais. Essa aproximação entre diferentes instituições e usuários de água pôde ser observada no Brasil no período de crise hídrica que o país vem passando, especialmente, entre 2011 - 2017. Visando criar um ambiente de discussões e tomada de decisão à cerca da operação dos reservatórios para algumas bacias hidrográficas do país que estavam passando por períodos de estiagens, a ANA criou uma plataforma online, contando com a participação de vários setores interligados ao cenário de crise hídrica. A frequência das reuniões varia de acordo com as demandas e a gravidade da situação hídrica da bacia, sendo todo conteúdo divulgado através da plataforma oficial da ANA e através de suas redes sociais. A bacia hidrográfica do rio São Francisco é um exemplo de atuação do sistema criado pela ANA.

Esse ambiente de discussão e tomada de decisão demonstra os avanços significativos na gestão de recursos auxiliados pelas Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC). O uso dessas tecnologias aumenta a frequência da participação de múltiplos atores. Em outras décadas, tais avanços na gestão da água não seriam considerados. Este exemplo, assim como outros, decorre da necessidade de laços mais estreitos entre setores para gerenciar um determinado recurso em comum entre eles, especificamente em tempos de escassez. Conforme ratificado por Olsson (2013), desde que haja excesso de recursos naturais (água, energia etc.), os planejadores não percebem a estreita relação entre esses fatores, mas quando o acesso a um deles é limitado, fica evidente a necessidade de considerar suas interdependências e interconexões.

Dada essa dinâmica, a tendência a médio e longo prazos é que as regulamentações setoriais se tornem cada vez mais flexíveis para se adaptar às mudanças, integrando idéias inovadoras e de melhores práticas (BHADURI *et al.*, 2015). Nesse sentido, é necessário definir qual é a melhor estratégia a ser seguida para alcançar a operacionalização do conceito nexus e se os atores envolvidos estão dispostos a mudar ou se adaptar às alterações necessárias nos seus modelos de gestão.

As principais limitações relacionadas à operacionalização do conceito nexus em modelos de gestão e planejamento foram listadas por diferentes autores (BAZILIAN *et al.*, 2011; BIZIKOVA *et al.*, 2013; PITTOCK *et al.*, 2013; LECK *et al.*, 2013; LECK *et al.*, 2015; MAYOR *et al.* 2015; WICHELS, 2017; BIJL *et al.*, 2018; LIU *et al.*, 2017; EMBID & MARTÍN, 2018; SHANNAK *et al.*, 2018):

- Questões institucionais e de governança - Possibilidade de incompatibilidade das estruturas institucionais atuais e alta resistência à mudança por acordos institucionais e administrativos estabelecidos;

- Questões legais - Possibilidade de alterar ou adaptar a estrutura regulatória. Isso envolve investimento financeiro, investimento de tempo e treinamento técnico;
- Falta de conhecimento multidisciplinar - Os atores institucionais geralmente são especialistas em apenas uma área presente no conceito nexus, não cobrindo o domínio sobre todos os outros sistemas envolvidos;
- Falta de coordenação e comunicação entre instituições setoriais na elaboração e implementação de políticas de água, energia e agricultura - Isso tende a levar a vários conflitos, eficiências cruzadas e resultados inconsistentes.

Essas limitações representam tanto a realidade das instituições e setores brasileiros quanto de vários outros países. Em termos práticos, ainda não foram identificados na literatura casos reais de implementação do conceito nexus em políticas setoriais ou modelos de gestão e planejamento.

Apesar dos resultados encontrados nas avaliações das legislações, deve-se ressaltar que não foi objetivo do presente estudo realizar avaliações do nível de inter-relações entre as diferentes variáveis que compõem uma estrutura de gestão multissetorial. Podendo citar, relações entre atores de um mesmo setor e entre setores distintos, aplicabilidade das políticas, o nível de participação dos atores nos processos decisórios, nível de governança, dentre outros. Esses aspectos possuem extrema relevância no desenvolvimento do conceito nexus e devem ser contemplados em futuras pesquisas.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

O Conceito nexus representa um paradigma para a gestão pública dos recursos naturais. Sua abordagem avançou significativamente ao longo dos anos no reconhecimento das inter-relações entre seus elementos e nas formas de apoiar sua avaliação e aplicação. Apesar dos avanços que vem ocorrendo, o conceito nexus e sua operacionalização em modelos de gestão dos recursos naturais ainda está em constante evolução, principalmente associado às questões mais práticas.

A revisão de 304 artigos científicos e 32 trabalhos técnicos de instituições de referências revelou que a maior inovação trazida pelo conceito nexus remete à ideia de uma gestão inter-setorial e multicêntrica, onde a “integração” exista não somente em um único setor ou repartição, mas que ocorra entre todos os setores que compartilham recursos naturais, consequentemente, compartilham riscos em suas transações. A integração deve ocorrer tanto em termos sociais (políticas, projetos, planos e programas) quanto em termos físicos (relações de consumo, demanda, impactos).

Para isso, pode-se inferir que o conceito nexus é pautado em 04 premissas básicas: (1) Teoria Geral dos Sistemas e Teoria da Complexidade representam suas bases conceituais; (2) políticas públicas interligadas respondem melhor aos problemas sociais e econômicos; (3) a Gestão dos recursos naturais deve ser intersetorial e com compartilhamento de riscos; e (4) deve-se almejar em toda e qualquer estrutura nexus a máxima eficiência dos processos com a menor perda possível, devendo sempre avaliar os trade-off entre seus elementos.

A operacionalização do conceito nexus, consequentemente, alcance das premissas supracitadas, tende a ocorrer a médio e longo prazos de formas distintas e temporalmente desigual nas diversas regiões do mundo, seguindo uma lógica de prioridades (econômica, ambiental e política) impostas por pressões das alterações climáticas e maior incidência de períodos de escassez. Além disso, a sua implementação em modelos de gestão dos recursos naturais irá exigir mudanças muito além de questões políticas e econômicas, se estendendo para mudanças culturais, comportamentais na forma de pensar e agir da própria sociedade.

A percepção da necessidade dessas mudanças pela sociedade vem ocorrendo de forma gradativa, a partir do reconhecimento que os modelos tradicionais de gestão desses recursos não respondem mais aos problemas complexos sociais e econômicos atuais, outras estratégias precisam ser consideradas. Neste aspecto, o conceito nexus vem ganhando cada vez mais espaço nos fóruns de discussões, científico e técnico, principalmente por representar, de forma incisiva, a necessidade do conhecimento das interações complexas que norteiam o planejamento territorial.

A falta de um delineamento organizacional do conceito nexus e sua relevância para a ciência aplicada foi uma das grandes motivações que impulsionaram o desenvolvimento deste estudo. Diante disso, com base em distintos autores da literatura, pôde-se perceber que o tema nexus, segue um padrão que se repete a cada aplicação, alterando apenas suas variáveis, como por exemplo, escalas espaciais, escalas temporais, contextos, métodos e modelos de avaliação. A padronização identificada auxiliou na elaboração de um procedimento sistemático direcionado

para organização de etapas de desenvolvimento do conceito nexus. Essas etapas incluem, (1) a compreensão do conceito em questão; (2) identificação e análise dos seus componentes; (3) avaliação das inter-relações entre eles (diagnóstico e prognóstico); e (4) elaboração de processos decisórios.

O grande potencial da metodologia proposta envolve sua aplicação para qualquer categorização do conceito nexus, em termos espaciais, contextos e arranjos entre seus elementos. A principal limitação da metodologia refere-se à complexidade em representar, através de cenários de planejamento, a totalidade da rede de interconexões que exige uma abordagem nexus.

Das etapas metodológicas propostas, foi realizado por este estudo: (1) a meta-análise dos artigos publicados referentes ao conceito nexus e elaboração de uma estrutura conceitual visando sua compreensão; (2) o levantamento das principais informações necessárias para sua aplicação e desenvolvimento de uma metodologia para análise e classificação das bases de dados setoriais no intuito de subsidiar pesquisas integradas de âmbito técnico e científico; (3) o mapeamento das interações entre água, energia e agricultura irrigada para escala nacional (diagnóstico), no contexto brasileiro; e (4) a investigação sobre as principais políticas públicas existentes no país, assim como, proposição de uma metodologia para avaliação do nível de integração entre essas políticas com o conceito nexus.

A partir da meta-análise dos artigos, pôde-se constatar que a inserção de novos elementos (clima, terra, ecossistema, carbono) na estrutura nexus resulta principalmente, em estudos qualitativos. Estudos quantitativos envolvendo modelagem nexus geralmente se concentram em dois ou três elementos, sendo que na maior parte dos casos, um elemento se sobressai perante outros, a depender do contexto trabalhado. Por exemplo, no contexto de recursos hídricos, a ênfase é atribuída aos problemas e pontos de vistas do setor de águas em comparação com outros setores. O mesmo acontece quando o contexto é alterado para os segmentos de agricultura/alimentos e energia.

Fazendo uma análise temporal dos artigos revisados, é possível inferir que inicialmente (entre os anos de 2011 – 2014) um dos maiores desafios envolvendo a temática nexus estava relacionada à sua própria compreensão. Destacando neste período publicações de artigos conceituais. A partir do ano de 2015 esses desafios foram reduzidos, passando a vez para o aspecto quantitativo, especialmente pertinente à modelagem nexus. Nesta época, a literatura passou a ter uma maior concentração de estudos contemplando ferramentas e métodos de avaliação. Assim como trabalhos voltados para criação de novos modelos, metodologias e *softwares* para essa finalidade. Cresceu, com isso, o número de artigos envolvendo estudos de casos (74%), direcionados para avaliação e projeção das inter-relações entre elementos nexus em diferentes escalas geográficas. A partir do ano de 2018 esses tipos de discussões prevalecem até os dias atuais, porém, direcionado para definir estratégias de implementação deste conceito nos modelos de gestão.

A etapa de avaliação, definida no procedimento metodológico, requer uma grande quantidade de bases de dados e modelos capazes de representar as interações complexas entre seus elementos. Ainda não foi identificado na literatura um modelo nexus capaz de representar todas as suas interações e variáveis de composição.

A aplicação da metodologia proposta para análise e classificação das bases de dados no Brasil mostrou que existem muitas informações disponíveis para desenvolvimento de estudos contemplando abordagem nexus. No entanto, a maior parte delas se encontra dispersa em diferentes instituições, documentos governamentais, publicações técnica e científica. Logo, não existe integração da maior parte das informações presentes nas bases de dados e falta

uniformização das escalas espaciais e das unidades de medida. O Brasil, até o momento, não possui bancos de dados interconectados e compartilhados entre diferentes setores. Isso tende a dificultar a coleta e compilação de todas as informações, limitando o desenvolvimento de avaliações integradas intersetoriais no país.

Avaliações contemplando relações entre água-energia no país é possível apenas para algumas tipologias energéticas que já possuem informações disponíveis em trabalhos técnicos e científicos. Isso porque, não existe uma base de dados Nacional direcionada para investigação do consumo de água e energia nas usinas, uma vez que esses parâmetros não são enfatizados nos sistemas de monitoramento de dados. Para obter essas informações, é necessário incentivar programas de monitoramento desses parâmetros nas referidas usinas alegando a relevância em deter este conhecimento para alcançar melhorias de seus processos. Além disso, faltam estudos que possibilitem avaliações integradas para investigar os impactos do uso da água pelas usinas de energia (termoelétrica, solar, petróleo, carvão e gás natural) na disponibilidade hídrica das bacias hidrográficas onde estão inseridas (sistemas de alocação de água). Este fator deveria representar um item essencial na elaboração e operacionalização de projetos neste segmento.

Neste estudo, foram analisados 51 unidades geradoras de energia presentes no Brasil, sendo 17 unidades correspondentes a cada tipologia energética (termelétrica, refinarias de petróleo e hidrelétricas). Os resultados mostraram uma grande dependência das tipologias energéticas analisadas com o setor de recursos hídricos. Apesar de reconhecer essas inter-relações, são poucas as políticas e ações setoriais que se comunicam. Geralmente, interligados unicamente por relações de disponibilidade hídrica e demanda em sistemas de alocação de água. As refinarias de petróleo do país possuem uma demanda de água em média entre 864,0 - 56.160,0 m³/dia, variando principalmente em função da capacidade de refino (barril/dia) e da tecnologia utilizada em seus processos. Para o caso das termelétricas, o consumo médio de água nas usinas analisadas variou entre 2,2 - 130,7 m³/h-1/MW, associado principalmente ao sistema de resfriamento, tipo de combustível, capacidade instalada e tecnologia utilizada na usina. Mais de 70% das usinas térmicas e das refinarias de petróleo estão instaladas em regiões hídricas classificadas entre crítica à muito crítica. Para hidrelétricas, foram encontrados valores de pegada hídrica entre 3,81 - 2.613,8 (m³/Mwh), variando conforme a área do reservatório e capacidade de geração.

Com base nas análises realizadas das relações água para energia, é possível apontar como principais desafios: (1) problemas logísticos associados ao gás natural; (2) necessidade de maior fiscalização nas usinas mais antigas visando reduzir ineficiências em seus processos; (3) interferência política/econômica e questões culturais. O aumento da participação da energia eólica na matriz brasileira; incentivos para crescimento de energia solar fotovoltaica; utilização de fontes hídrica salina e/ou salobra; e maior utilização de tecnologias de reuso em refinarias de petróleo são algumas das alternativas que devem ser melhor articuladas nas estratégias políticas do governo visando a segurança hídrica e energética do país.

Além dos pontos abordados, a consolidação de um plano nacional de controle de perdas e redução do consumo de água nas usinas de energia acoplado a um programa de gestão de risco climático deveria compor o sistema de gestão de ambos os recursos. Esse plano deve ser integrado às políticas públicas governamentais, a partir da inserção da “eficiência hídrica” como um parâmetro de projeto obrigatório na análise dos processos de extração, tratamento e geração de energia. Para isso, instrumentos como pegada hídrica e ACV podem auxiliar na obtenção dessas avaliações.

No caso específico das termelétricas, é proposto a ampliação da base de dados BIG/ANEEL para incluir no cadastro das usinas uma maior caracterização de sua estrutura, de forma que

contemple informações como, início de operação, tipo de sistema de resfriamento, tipo de ciclo termodinâmico, combustível utilizado e situação hídrica da região de interesse. Essas informações devem ser sistematizadas e tornadas públicas para auxiliar em desdobramentos de pesquisas de forma mais consistente e representativa, reduzindo limitações e melhorando o planejamento estratégico do setor.

Outro aspecto que deve ser investigado nas UTEs é a análise de viabilidade para alterar sistemas de resfriamento de baixa eficiência para sistemas mais eficientes, como por exemplo, sistemas híbridos, visando manter suas operações ativas em cenários de escassez de água doce. No Brasil, não foi identificada a utilização de sistemas híbridos em termelétricas, poucas usinas utilizam atualmente sistemas de resfriamento movidos à ar no lugar da água ou movidos à fonte de água salina. Utilização de água salina é uma boa opção para UTEs instaladas em regiões litorâneas do país, logo, deve ser melhor explanada. Em vários países, a utilização dessa fonte de água como recurso de térmicas já se apresenta consolidado. No Brasil, muitas UTEs ainda não foram avaliadas quanto às alternativas de fontes de água e à eficiência de seus processos como requisitos essenciais da segurança hídrica regional e nacional.

Para o caso das usinas hidrelétricas, a principal investigação consiste nas perdas por evaporação de água nos reservatórios e nos impactos, ambiental e social, associados à suas regras operativas. Já existem métodos que visam reduzir as taxas de evaporação, como por exemplo, a implantação de usinas solar flutuante. Com esse sistema, além de gerar energia, reduz o consumo de água necessário para os processos da própria usina fotovoltaica, e tende a reduzir as taxas de evaporação devido à cobertura do reservatório. É necessário que o governo invista em políticas que auxiliem no desenvolvimento de sistemas híbridos (hidráulica e solar; solar, eólica e biomassa, etc.), semelhante ao investimento do Programa Proinfa. Quanto às regras operativas, a utilização de tecnologias da informação e comunicação tem se mostrado cada vez mais interessante como meio para aumentar a difusão do conhecimento, sistematizar discussões e negociações entre múltiplos atores de interesse em processos decisórios, visando aumentar sinergias entre si e reduzir impactos.

No setor de saneamento, o principal banco de dados que possibilita investigações sobre o consumo de água e energia em seus sistemas é o SNIS. No entanto, não apresenta a discretização dessas informações para as diferentes etapas de abastecimento de água (coleta, tratamento e distribuição) e esgotamento sanitário (coleta, transporte e tratamento, e destinação final). Para auxiliar nessas investigações, deve-se aplicar a metodologia, de análise e classificação de bases de dados proposta neste estudo, para os órgãos reguladores estaduais, e mais especificamente, coletar informações nas próprias concessionárias de água e esgoto. Para este setor, foi possível concluir:

- No Brasil, o consumo de energia elétrica é superior para o setor de abastecimento de água, comparado ao setor de esgotamento sanitário. Isso ocorre principalmente, porque a taxa de coleta e tratamento de esgoto ainda é baixa no país.
- Grande parte da energia elétrica consumida nas concessionárias de água e esgoto é desperdiçada devido às perdas nos sistemas. Existem concessionárias, como a Companhia de Águas e Esgoto de Roraima (CAER), a Companhia de Saneamento do Amazonas (COSAMA) e a Companhia de Água e Esgoto do Amapá (CAESA) que as perdas no ano de 2018 passaram de 65%.
- Verificou-se que na região Nordeste localizam-se os Estados com maior consumo de energia pelas concessionárias de água e esgoto do país, com destaque para Sergipe (DESO) e Alagoas (CASAL). E a região Norte compreende os Estados que apresentaram os maiores desperdícios de água por perdas no sistema. Logo, essas

regiões apresentam maior potencial para implementação de ações de eficiência hidráulica e energética. O programa do governo Federal “Procel Sanear” existe exatamente para promover a eficiência energética no setor de saneamento, bem como a diminuição dos desperdícios. É preciso averiguar se esse programa está alcançando todas as regiões do país e abrangendo investimentos tanto no setor de abastecimento de água quanto de esgotamento sanitário.

- Analisando o número de ETEs presentes no Brasil, observa-se que as tecnologias de tratamento mais utilizadas demandam de pouca energia, sendo elas, a lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa para algumas regiões e reator anaeróbio para outras. No entanto, analisando o número de ETEs por população atendida, observa-se que a tecnologia de lodo ativado convencional se sobressai no país, sendo esta uma tecnologia que demanda de grande quantidade de energia comparada com os tipos de tratamento mencionados anteriormente. A associação entre tratamento anaeróbio de esgoto e geração de energia, a partir do aproveitamento do biogás, tem crescido no Brasil desde o ano de 2011. No entanto, esse aproveitamento ainda é muito baixo.
- O aumento da cobertura de coleta de esgoto associado a implantação de estações de tratamento autossuficiente (beneficiamento energético e hídrico proveniente de seus resíduos para complementar ou atender à sua própria demanda e demandas externas a depender da sua capacidade em gerar energia e efluentes reutilizáveis) devem compor as principais metas dos investimentos governamentais e da iniciativa privada no país. Isso porque a falta de saneamento é um dos maiores problemas de saúde pública e poluição dos corpos de água do Brasil em conjunto com o lançamento de efluentes industriais.
- Importante salientar que o desenvolvimento de programas governamentais que integrem o setor de saneamento ao setor agrícola (política de reuso), para regiões que apresente viabilidade técnica e econômica dessa interação, tende a se tornar uma solução eficaz para atendimento às demandas crescentes de água do agronegócio no país ao mesmo tempo que reduz às captações de água doce. A Política Nacional de Irrigação pode ser alterada visando os aspectos integradores mencionados.

No setor agrícola, a única base de dados Nacional que dispõe de informações de retiradas de água para diferentes culturas georreferenciadas mediante distintos métodos de irrigação é o cadastro de outorga da ANA. No entanto, não apresenta a compilação da área irrigada das culturas, sendo uma informação importante nas avaliações integradas. Essa informação pode ser encontrada, individualmente, nas normativas da ANA. Quanto ao consumo de energia neste segmento, não foram encontradas informações atreladas aos métodos de irrigação para o caso brasileiro. As informações que foram levantadas, representam o contexto global.

Com base nas análises dos dados do cadastro de outorga, censo agropecuário e informações presentes em estudos técnico e científico, pôde-se perceber que as principais retiradas de água das bacias hidrográficas do Brasil são provenientes do setor de agricultura irrigada, e do setor industrial. A irrigação corresponde em mais de 75% das retiradas de água das bacias Atlântico Sul, Parnaíba, São Francisco e Uruguai. Os valores expressivos de retiradas de água para irrigação também representam pontos de conflitos entre diferentes usuários. Neste caso, o instrumento alocação de água deve-se tornar o moderador nas negociações de conflitos, desde que amplie suas formas de avaliação para além do balanço hídrico tradicional.

Pôde-se verificar, também, que a água virtual e a energia incorporada aos produtos agropecuários geralmente não são consideradas nas transações comerciais do país. Devido aos altos valores incorporados para alguns tipos de culturas, esses dois fatores deveriam representar fortes estratégias competitivas de mercado podendo ser associado por exemplo, a

rotulagem ambiental, dando maior valor agregado aos produtos agropecuários como um marketing sustentável.

Para a área de bioenergia, é importante chamar atenção para dois pontos trabalhados no contexto nexus global: as formas de produção das culturas energéticas e a possibilidade de futura competição deste segmento com a produção de alimentos. A biomassa é vista como uma energia limpa comparada aos combustíveis fósseis. Porém, o consumo de água e emissão de gases presentes na sua produção pode ultrapassar a dos combustíveis fósseis a depender da forma com que é produzido e processado. Diante disso, considerando a expansão da participação dos biocombustíveis na matriz brasileira, impulsionados pelas políticas públicas no setor (como por exemplo, o RenovaBio), é preciso rever essas formas de produção. Quanto à possibilidade de competição com a produção de alimentos, é importante monitorar o crescimento das monoculturas voltadas para bioenergias nas áreas agrícolas. O país atualmente não apresenta um cenário eminente de competição entre eles, porém, esse cenário já é uma realidade em vários países e não deve ser descartada do Brasil apenas por considerar sua extensão territorial. Deve-se pensar em termos territoriais em recuperar áreas degradadas para transformá-las em novas áreas de plantio de biomassa com uma forte transição para a economia circular.

Considerando a extensão territorial do país, a metodologia de classificação das legislações regulatórias quanto ao conceito nexus foi aplicada considerando apenas as políticas Federais que regem os setores de água (3 legislações, 7 programas governamentais), energia (4 legislações, 5 programas governamentais) e agricultura (3 legislações, 11 programas governamentais). Com os resultados alcançados, pode-se concluir:

- As atuais políticas públicas do setor agrícola do Brasil precisam considerar eficiência hídrica, energética e tecnológica como pré-requisito para liberação de investimento em projetos e programas setoriais.
- A maioria dos programas e planos do governo Federal, correspondentes aos setores em análise, possuem interferências entre si. Porém, as interferências promovidas pelos programas e planos de um determinado setor não são compartilhadas nos planos e programas de outros setores. Elas ocorrem como uma consequência de sua implementação. Isso remete a um desperdício financeiro analisando pela ótica que o desenvolvimento e implementação de programas e ações que podem abranger dois ou três setores em conjunto tende a reduzir investimentos que seriam direcionados para solucionar problemas isolados de apenas um único setor. Isso tende a evitar a sobreposição dessas políticas, direcionando uma melhor aplicação das verbas públicas ou a redistribuição delas para atender outras demandas ou regiões do país.
- Todas as legislações analisadas possuem de baixa à média interligação com os critérios intrínsecos ao conceito nexus. As políticas que mais se destacaram, quanto ao número de critérios presentes em seus escopos, foram a política nacional de irrigação e a política de combate à desertificação.
- Considerando o reconhecimento das inter-relações existentes entre os segmentos de água, energia e agricultura, suas políticas deveriam no mínimo possuir pontos de interconectividade, como por exemplo, abranger fontes de água não convencional com forte indicativo de reúso de água; eficiência de sistemas; energias alternativas; produção sustentável; segurança hídrica, energética e alimentar; etc. As legislações regulatórias precisam ser revistas e alteradas.

- No Brasil, alguns exemplos que caracterizam avanços na aproximação mais intensa entre os setores em estudo surgiram pela necessidade de solucionarem problemas presentes em situações de escassez de um determinado recurso natural em comum entre eles. Ou seja, por compartilharem riscos e inseguranças hídrica, energética e agrícola, foram tendenciados, pelas circunstâncias, a um maior reconhecimento da existência das interligações e interdependências entre eles, o que fomentou em algumas ações conjuntas. Isso representa a gestão em situação de crise, porém, a proposta nexus é tornar essa gestão interligada contínua em todo processo.

Tendo todas as considerações levantadas, é possível inferir que esta pesquisa sanou algumas lacunas da literatura científica referente ao tema “nexus”, apresentando contribuições para a área, especialmente, centrada em quatro pontos:

- (1) Compreensão de uma grande quantidade de informações e variáveis de composição do conceito nexus que ainda não tinham sido abordados;
- (2) Elaboração de estruturas conceituais para auxiliar na identificação e avaliação das inter-relações entre os diversos temas e variáveis que tem sido utilizado na abordagem nexus;
- (3) Desenvolvimento de procedimentos e metodologias inovadores para direcionar desdobramentos de modelos de gestão e planejamento com base no conceito nexus.
- (4) Mapeamento das interações água-energia-agricultura irrigada no Brasil que possibilita identificar os principais pontos críticos de suas interdependências, além de chamar a atenção para a necessidade de compreender essas relações para melhorar o direcionamento dos investimentos, da gestão e da governança dos recursos naturais e atividades econômicas presentes no país.

Nos Apêndices B, C e D estão listados as principais contribuições desta pesquisa até o momento de sua publicação.

5.1 Desafios e perspectivas para trabalhos futuros

O presente estudo considera como desafios para operacionalização do conceito nexus no Brasil:

- Falta de bancos de dados que consigam, além de agrupar informações dos diferentes setores (como a Plataforma de dados abertos), possam nivelar os formatos de saída de seus dados, quando compatíveis.
- Realizar a modelagem nexus (considerando a extensão territorial do país) contemplando todas as variáveis e fatores intervenientes levantados no estudo, tendo como suporte, as bases de dados Nacionais. No Brasil, o desenvolvimento de estudos integrados tendem a ser facilitados adotando a escala temporal de dados “anual” e em escala geográfica à “nível nacional e regional”. Além disso, os modelos WEAP-LEAP têm se mostrado ferramentas promissoras para avaliar projeções de cenários de planejamento considerando uma baixa entrada de dados.
- Avaliar as inter-relações entre consumo de água e energia nas 3.032 usinas termelétricas instaladas no país, 85 unidades com construção iniciada e 46 unidades com construção ainda não iniciada, considerando que as bases de dados levantadas não apresentam estas relações. Para cada UTE, investigar a eficiência de seus processos, situação hídrica da região de implantação da usina e alternativas de fontes de água. Com isso, identificar as usinas de maior criticidade do país quanto ao contexto de segurança hídrica.

- Avaliar as formas de produção das culturas energéticas produzidas no território nacional, considerando a extensão agrícola do país.
- Forte influência do modelo político econômico praticado no país; histórico cultural de construção da estrutura institucional fragmentada; resistências às possíveis mudanças nos sistemas de gestão e divergências de interesse político presentes nos arranjos institucionais e seus respectivos atores; e políticas públicas multissetoriais na maior parte dos casos, isoladas, fragmentadas e descoordenadas.
- Elaborar ou alterar políticas públicas visando a integração entre os setores correlacionados que possuem um objetivo comum. Como por exemplo, a primeira resolução conjunta entre ANEEL e ANA (Resolução nº 3 de 10 de agosto de 2010 - procedimentos para instalação, operação e manutenção de estações hidrométricas).

Diante dos desafios assinalados, recomenda-se:

- Propor modelos de bancos de dados compartilhados entre diferentes setores ou que consigam nivelar seus formatos de saída.
- Aplicação dos procedimentos metodológicos propostos para outras escalas espaciais, em especial, direcionado para escalas menores. Neste aspecto, é pertinente utilizar regiões semiáridas como áreas propícias para implementação do conceito nexus por representarem todos os drivers globais que impulsionaram sua origem. São regiões que residem boa parte da população do Brasil, apresentam os meios de subsistência mais suscetíveis as flutuações climáticas devido ao baixo índice de desenvolvimento humano, altos níveis de pobreza crônica, baixos investimentos em tecnologias apropriadas para atender às condições locais, instabilidade social e política, conflitos geopolíticos e danos ambientais significativos. A proposta para esses ambientes deve envolver estruturas integradas de cadeia fechada (sistemas autossuficientes), entre médio à baixo custo, para atender a disponibilidade hídrica, produção agropecuária sustentável e autogeração de energia.
- Ampliar a aplicação da metodologia de análise e seleção de bases de dados para outros setores e escalas, de forma que as bases de dados Estaduais e Municipais sejam contempladas.
- Validar a metodologia de classificação das políticas setoriais para outros países e inserir nas avaliações outros fatores de análise como por exemplo, investigação do nível de integração entre atores, instituições, e sistemas de governança.
- Introduzir as discussões sobre as premissas do conceito nexus no âmbito das instituições públicas e privadas.
- Avaliar os fluxos de água e energia em outras tipologias energéticas como por exemplo, usinas de beneficiamento do carvão e extração dos combustíveis fósseis. Além disso, deve-se estimar o consumo de energia nas refinarias de petróleo e nas termelétricas. Existem poucas informações atrelado a essas interações.

REFERÊNCIAS

- ABDELKADER, A.; ELSHORBAGY, A.; TUNINETTI, M.; LAIO, F.; RIDOLFI, L.; FAHMY, H.; HOEKSTRA, A.Y. National water, food, and trade modeling framework: The case of Egypt. *Science of the Total Environment*, v.639, p.485-496, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.197>
- ABDULLAEV, I.; RAKHMATULLAEV, S. Setting up the agenda for water reforms in Central Asia: Does the nexus approach help? *Environmental Earth Sciences*, v.75: 870, 2016.
- ABERS, R. N.; JORGE, K. D. Descentralização da gestão da água: por que os comitês de bacia estão sendo criados? *Ambiente & Sociedade*, v. VIII, n. 2, p. 1-26, 2005.
- ABNT-Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9649 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. ABNT, 1986.
- ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS. Um futuro com energia sustentável: Iluminando o caminho / Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, 2010, 300 p.
- AGRAWAL, M.; SINGH, J. Impact of coal power plant emission on the foliar elemental concentrations in plants in a low rainfall tropical region. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 60, p. 261–282, 2000.
- AHMAD, A.; KHAN, S. Water And Energy Scarcity For Agriculture: Is Irrigation Modernization The Answer? *Irrig. and Drain.*, v. 66, p. 34-44, 2016. <https://doi.org/10.1002/ird.2021>
- AL-ANSARI, T.; KORRE, A.; NIE, Z.; SHAH, N. Development of a life cycle assessment tool for the assessment of food production systems within the energy, water and food nexus. *Sustainable Production and Consumption*, v.2, p.52-56, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2015.07.005>
- AL-BASSAM, E.; MAHESHWARI, G.P. A new scheme for cooling tower water conservation in arid-zone countries. *Energy*, v.36, n.7, p.3985-3991, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.05.003>
- ALBRECHT, T.R.; CROTOF, A.; SCOTT, C.A. The Water-Energy-Food Nexus: A systematic review of methods for nexus assessment. *Environmental Research Letters*, v.13, 2018.
- ALCOFORADO, F. A política energética sustentável requerida para o Brasil. *Nexus Econômicos – CME-UFBA*, v.6, n.2, 2012.
- ALLAM, M. M.; ELTAHIR, E. A. B. Water-Energy-Food Nexus Sustainability in the Upper Blue Nile (UBN) Basin. *Front. Environ. Sci.*, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00005>
- ALLOUCHE, J.; MIDDLETON C.; GYAWALI, D. Technical Veil, Hidden Politics: Interrogating the Power Linkages behind the Nexus. *Water Alternatives*, v.8, p.610-626, 2015.
- ALLRED, B.W.; SMITH, W.K.; TWIDWELL, D.; HAGGERTY, J.H.; RUNNING, S.W.; NAUGLE, D.E.; FUHLENDORF, S.D. Ecosystem services lost to oil and gas in North America - Net primary production reduced in crop and rangelands. *SCIENCE*, v. 348, 2015.
- ALMEIDA, A. BETÂMIO de. Gestão de risco e da incerteza: Conceitos e filosofia subjacente. In: *Realidades e desafios na gestão dos riscos: diálogo entre ciência e utilizadores*.

Imprensa da Universidade de Coimbra, 2014.
http://dx.doi.org/10.14195/978-972-8330-23-1_2

ALMEIDA, C. F. Avaliação do ciclo de vida: estudo de caso em uma usina termelétrica bicomcombustível na Amazônia. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

ALMEIDA, K. C. de B. Avaliação da rede de monitoramento de qualidade das águas superficiais da Bacia do Rio das Velhas utilizando o método da entropia. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

ALMEIRA, D.L.; BENASSI, R.F. Crise hídrica e de energia elétrica entre 2014-2015 na região Sudeste. *Revista Hipótese*, v. 1, n.2, p. 65-76, 2015.

AL-SAIDI, M.; ELAGI, N.A. Towards understanding the integrative approach of the water, energy and food nexus. *Science of the Total Environment*, v. 574, p. 1131–1139, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.046>

ÁLVAREZ, J.A.; SOLERA, A.S.; Monteagudo, D.H. Modelo OPTIGES de Optimización de la Gestión de Esquemas de Recursos Hídricos - Manual del Usuario: Versión 3.0. Universidad Politécnica De Valencia, 1998.

ÁLVAREZ, J.A.; SOLERA, A.S.; ROMÁ, J.C.; POLO, J.F. Modelo SIMGES de Simulación de la Gestión de Recursos Hídricos, incluyendo Utilización Conjunta. Manual del Usuario: Versión 3.03.01. Universidad Politécnica de Valencia, 2001.

ÁLVAREZ, J.A.; SOLERA, A.S.; ROMÁ, J.C.; QUISPE, S.T. Modelo SIMRISK de Simulación múltiple de la Gestión de Recursos Hídricos con estimación del riesgo, incluyendo Utilización Conjunta. Manual del Usuario: Versión 2.4. Universidad Politécnica De Valencia, 2002.

AL-ZU'BI, M. Water–Energy–Food–Climate Change Nexus in The Arab Cities: The Case of Amman City, Jordan. *Environmental Design Graduate Studies*, (Doctoral thesis), 2017. <http://dx.doi.org/10.11575/PRISM/28672>

AMARAL, G. F.; GUIMARÃES, D. D. Panoramas setoriais 2030: Agropecuária. 2017.

AMJATH-BABU, T.S; SHARMA, B.; BROUWER, R.; RASUL, B.; WAHID, S.M.; NEUPANE, N.; BHATTARAI, U.; SIEBER, S. Integrated modelling of the impacts of hydropower projects on the water-food-energy nexus in a transboundary Himalayan river basin. *Applied Energy*, v.239, p.494–503, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.147>

AMORIM, R. da S. Abastecimento de água de uma refinaria de petróleo: Caso REPLAN. Dissertação (Mestrado em Sistema de Gestão) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2005.

AMORIM, W. S. DE; VALDUGA, I. B.; RIBEIRO, J. M. P.; WILLIAMSON, V. G.; KRAUSER, G. E.; MAGTOTO, M. K.; GUERRAA, J. B. S. O. de. A. The nexus between water, energy, and food in the context of the global risks: An analysis of the interactions between food, water, and energy security. *Environmental Impact Assessment Review*, v.72, p.1-11, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2018.05.002>

ANA – Agência Nacional das Águas. Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília: ANA, 2013, 252 p.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: informe anual / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2017a.

_____. Atlas Esgotos - Despoluição de Bacias Hidrográficas. Ministério do Meio ambiente/Ministério das Cidades, Brasília, 2017b. 92p.

_____. Água na indústria: uso e coeficientes técnicos. ANA, Brasília, 2017c, 37 p.

_____. Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada /Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2017d, 86 p.

_____. HIDROWEB: Sistema de Informação Hidrológica. Disponível em:<<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>>. Acesso em: fev. 2019a.

_____.Outorgas emitidas. Disponível em:<<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/principais-servicos/outorgas-emitidas/outorgas-emitidas>>. Acesso em: fev. 2019b.

_____.Portal de Metadados. Disponível em:<<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>>. Acesso em: Janeiro 2019c.

_____. SAR: Sistema de Acompanhamento de Reservatórios. Disponível em:<<http://sar.ana.gov.br/>>. Acesso em: Jan. 2019d.

_____. SNISB – Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragem. Disponível em:< <http://www.snisb.gov.br/portal/snisb>>. Acesso em: fevereiro 2019e.

_____. Coeficientes técnicos de uso da água para a agricultura irrigada/ Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019f, 29 p.

_____. Proáguas avança do semi-árido para o restante do Brasil. Disponível em:<<https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/proa-gua-avanassa-do-semi-a-rido-para-o-restante.2019-03-14.3021002096>>. Acesso em: dezembro 2019g.

_____. Plano Nacional de Segurança Hídrica. Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília: ANA, 2019h.

_____. Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2019i.

_____. Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas (Progestão). Disponível:< <http://progestao.ana.gov.br/>>. Acesso em: janeiro 2019j.

_____. Regiões hidrográficas (2018). Disponível em:<http://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/b78ea64219b9498c8125cdef390715b7_0>. Acesso em: julho 2019.

_____. Panorama da Qualidade das Águas Superficiais do BRASIL – 2012. Brasília: ANA, 2012, 264 p.

ANDRADE, R. G.; BOLFE, E. L.; VICTORIA, D. C.; NOGUEIRA, S. F. 2017. Avaliação das condições de pastagens no Cerrado brasileiro. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 7, n. 1, p. 34-41.

ANDREWS-SPEED, P.; BLEISCHWITZ, R.; BOERSMA, T.; JOHNSON, C.; KEMP, G.; VANDEVEER, D.S. The Global Resource Nexus - The Struggles for Land, Energy, Food, Water, and Minerals. In: Transatlantic Academy, 2012. Disponível em: <https://www.unescap.org/sites/default/files/AndrewsSpeed-UNESCAPGlobalNexus-March2013-Final.pdf>. Acesso em jan. 2019.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. BIG – Banco de Informações de Geração. Disponível em:<
<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>>. Acesso em:
janeiro 2019a.

_____. SIGEL: Sistema de Informação Geográfica do Setor Elétrico. Disponível em:<
<https://sigel.aneel.gov.br/Down/>>. Acesso em: janeiro 2019b.

_____. Processo: 48100.000932/1997-75 - 2018. Disponível em:<
http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias_area/arquivos/48100.000932-1997-75.pdf>.
Acesso em março 2019.

ANEEL/ANA - Agência Nacional de Energia Elétrica/ Agência Nacional de Águas. Resolução Conjunta Nº 3, de 10 de Agosto de 2010. D.O.U de 20.10.2010.

ANP – Agência Nacional de Petróleo. Banco de dados. Dados Abertos. Disponível em:<
<http://www.anp.gov.br/dados-abertos-anp>>. Acesso em: Jan. 2019.

ANZE, M. Otimização do uso de água em refinarias de petróleo. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

ARAUJO, M.; OMETTO, J.; RODRIGUES-FILHO, S.; BURSZTYN, M.; LINDOSO, D. P.; LITRE, G.; GAIVIZZO, L.; FERREIRA, J. L.; REIS, R. M.; ASSAD, E. The socio-ecological Nexus+ approach used by the Brazilian Research Network on Global Climate Change. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 39, p. 62-70, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.08.005>

ARLOSOROFF, S. Water Demand Management – A Strategy To Deal With Water Scarcity Israel: A Case study. In: SHUVAL, Hillel; DWEIK, Hassan. *Water Resources in the Middle East: Hexagon Series on Human and Environmental Security and Peace*. 2. ed. Israel: Springer, Cap. 33, p. 329-240, 2007.

ARMAH, F. A.; EKUMAH, B.; YAWSON, D. O.; AFITRI, A-R.; NYEKU, F. E. Access to improved water and sanitation in sub-Saharan Africa in a quarter century. *Heliyon*, v. 4, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00931>

ARMSTRONG, A.; OSTLE, N.J.; WHITAKER, J. Solar park microclimate and vegetation management effects on grassland carbon cycling. *Environmental Research Letters*, v.11, 2016. DOI:10.1088/1748-9326/11/7/074016.

ARQUIOLA, J.P.; SOLERA, A.S.; ÁLVAREZ, J.A. Modelo GESCAL para la simulación de la calidad del agua en sistemas de recursos hídricos - Manual de usuario: Versión 2.0. Instituto De Ingeniería Del Agua Y Medio Ambiente, Universidad Politécnica De Valencia, 2013.

ARROYO, E. M. V. Incorporação do nexso energia-água em um modelo de otimização da expansão do sistema energético brasileiro. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

ARROYO, E. M. V. Proposta metodológica para avaliação da vulnerabilidade da geração termelétrica a carvão mineral no Brasil às mudanças climáticas. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

ARSENE, D. F.; TEODOSIU, C.; FIORE, S. Environmental and Energy Assessment of Municipal Wastewater Treatment Plants in Italy and Romania: A Comparative Study. *Water*, 11, 1611, 2019. DOI:10.3390/w11081611

- ARTIOLI, F.; ACUTO, M.; MCARTHUR, J. The water-energy-food nexus: An integration agenda and implications for urban governance. *Political Geography*, v.61, p. 215-223, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2017.08.009>
- ASSUNÇÃO, J.; SOUZA, P.; PIETRACCI, B.; SZERMAN, C. Resumo para política pública Código florestal e crédito rural: Como aperfeiçoar a integração de duas importantes políticas públicas no Brasil. Projeto Iniciativa para o Uso da Terra (INPUT), 2016.
- ASSUNÇÃO, J.; SOUZA, P. Alinhamento do crédito rural com o código florestal: resultados podem ser obtidos sem custos adicionais. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2019.
- ATES, H.; DOGAN, S.; BERKTAY, A. The Effect of River Type Hydroelectric Power Plants on Aquatic Ecosystems: the Case Study of Göksu River-Eastern Mediterranean. *European Journal of Engineering and Natural Sciences - EJENS*, v.1, n. 1, p. 39-46, 2016.
- BACCINI, A. et al. Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps. *Nature Climate Change*, v. 2, n. 3, p. 182- 185, 2012.
- BACH, H.; BIRD, J.; CLAUSEN, T.J.; JENSEN, K.M.; LANGE, R.B.; TAYLOR, R.; VIRIYASAKULTORN, V.; WOLF, A. Transboundary River Basin Management: Addressing Water, Energy and Food Security. Mekong River Commission, Lao PDR, 64p., 2012.
- BADESUL Desenvolvimento. Qual é seu negócio? Disponível em: <<https://www.badesul.com.br/produtos/produtoDetalhe/AGRO/24>>. Acesso em novembro 2019.
- BAFFES, J.; DENNIS, A. Long-Term Drivers of Food Prices. The World Bank/Development Prospects Group & Poverty Reduction and Economic Management/ Network Trade Department, 2013.
- BALETA, J.; MIKULCIC, H.; KLEMES, J.J.; URBANIEC, K.; DUIC, N. Integration of energy, water and environmental systems for a sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, p.1424-1436, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.035>
- BAMWESIGYE, D.; HLAVACKOVA, P.; DARKWAH, S. A.; VERTER, D. Deforestation, Climate Change and Food Security Nexus in SubSahara Africa: Content Analysis. Preprints, 2019. DOI: 10.20944/preprints201902.0154.v1
- BANCO MUNDIAL. Documento de avaliação do projeto sobre uma proposta de empréstimo no valor de U\$ 107,3325 milhões para a república federativa do Brasil destinado ao projeto integrado federal do setor água – INTERÁGUAS. Departamento de Desenvolvimento Sustentável, 2011, 124 p.
- BARBOSA, F. L.; SZKLO, A.; MAGRINI, A. Regulamentação do reuso da água em refinarias – Análise do modelo americano e perspectivas para o cenário nacional. 3o Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Salvador, 2005.
- BARBUSCIA, M. Economic viability assessment of floating photovoltaic energy. Thesis to obtain the Master of Science Degree in Energy Engineering and Management, Lisboa, 2017.
- BARICELO, L. G.; BACHA, C. J. C. Oferta e demanda de máquinas agrícolas no Brasil. *Revista de Política Agrícola*, n. 4, 2013.
- BARROS, A. M. de L. Modelagem da poluição pontual e difusa: Aplicação do Modelo Moneris à Bacia Hidrográfica do rio Ipojuca, Pernambuco. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

- BASHEER, M.; ELAGIB, N.A. Sensitivity of Water-Energy Nexus to dam operation: A Water-Energy Productivity concept. *Science of the Total Environment*, 616–617, 918–926, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.228>
- BASHEER, M.; WHEELER, K.G.; RIBBE, L.; MAJDALAWI, M.; ABDO, G.; ZAGONA, E.A. Quantifying and evaluating the impacts of cooperation in transboundary river basins on the Water-Energy-Food nexus: The Blue Nile Basin. *Science of The Total Environment*, v. 630, p.1309-1323, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.249>
- BAZILIAN, M.; ROGNER, H.; HOWELLS, M.; HERMANN, S.; ARENT, D.; GIELEN, D.; STEDUTO, P.; MUELLER, A.; KOMOR, P.; TOL, R.S.J.; YUMKELLA, K.K. Considering the energy, water and food nexus: Towards an integrated modelling approach. *Energy Policy* n. 39, p. 7896–7906, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.039>
- BECK, M.B.; WALKER, R.V. On water security, sustainability, and the water-food-energy-climate nexus. *Front. Environ. Sci. Eng.* v.7, n.5, p. 626–639, 2013. DOI: 10.1007/s11783-013-0548-6
- BECKEN, S.; MCLENNAN, C-L. Evidence of the water-energy nexus in tourist accommodation. *Journal of Cleaner Production*, v.144, p.415-425, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.167>
- BEKCHANOV, M.; LAMERS, J. P. A. The Effect of Energy Constraints on Water Allocation Decisions: The Elaboration and Application of a System-Wide Economic-Water-Energy Model (SEWEM). *Water*, v.8, 253, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8060253>
- BELL, A.; MATTHEWS, N.; ZHANG, W. Opportunities for improved promotion of ecosystem services in agriculture under the Water-Energy-Food Nexus. *J Environ Stud Sci.*, v. 6 (1), p. 183–191, 2016. DOI 10.1007/s13412-016-0366-9.
- BENEJAM, L.; SAURA-MAS, S.; BARDINA, M.; SOLA, C.; MUNNÉ, A.; Garcia-BERTHOU, E. Ecological impacts of small hydropower plants on headwater stream fish: from individual to community effects. *Ecology of Freshwater Fish*, 2014. DOI: 10.1111/eff.12210.
- BENITES-LAZARO, L.L.; GIATTI, L.; GIAROLLA A. Topic modeling method for analyzing social actor discourses on climate change, energy and food security. *Energy Research & Social Science*, 45, 318–330, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2018.07.031>
- BENSON, D.; GAIN, A.K.; ROUILLARD, J.J. Water Governance in a Comparative Perspective: From IWRM to a ‘Nexus’ Approach? *Water Alternatives*, v.8, p.756 – 773, 2015.
- BERARDY, A.; CHESTER, M. V. Climate change vulnerability in the food, energy, and water nexus: concerns for agricultural production in Arizona and its urban export supply. *Environ. Res. Lett.*, v.12, 2017. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5e6d>
- BERGENDAHL, J.A.; SARKIS, J.; TIMKO, M.T. Transdisciplinarity and the food energy and water nexus: Ecological modernization and supply chain sustainability perspectives. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 133, p. 309–319, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.01.001>
- BERTOMÉU-SÁNCHEZ, S.; SEREBRISKY, T. Water and Sanitation in Latin America and the Caribbean: An Update on the State of the Sector. *EUI Working Paper RSCAS 2018/10*, 2018.

BHADURI, A.; RINGLER, C.; DOMBROWSKI, I.; MOHTAR, R.; SCHEUMANN, W. Sustainability in the water–energy–food nexus. *Water International*, v.40, p.723-732, 2015. DOI: 10.1080/02508060.2015.1096110

BIGGS, E.M.; BRUCE, E.; BORUFF, B.; DUNCAN, J.M.A.; HORSLEY, J.; PAULI, N.; MCNEILL, K.; NEEF, A.; OGTROP, V.; CURNOW, J.; HAWORTH, B.; DUCE, S.; IMANARI, Y. Sustainable development and the water–energy–food nexus: A perspective on livelihoods. *Environmental Science & Policy*, v. 54, p. 389–397, 2015.

BIJL, D.L.; BOGAART, P.W.; DEKKER, S.C.; VUUREN, D.P. Unpacking the nexus: Different spatial scales for water, food and energy. *Global Environmental Change*, v.48: 22-31, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2017.11.005>

BIZIKOVA, L.; ROY, D.; SWANSON, D.; VENEMA, H.D.; MCCANDLESS, M. The Water–Energy–Food Security Nexus: Towards a practical planning and decision-support framework for landscape investment and risk management. The International Institute for Sustainable Development, 2013.

BLACK, A.; ROWAN, J.S.; DUCK, R.W.; BRAGG, O. DHRAM: A method for classifying river flow regime alterations for the EC Water Framework Directive. *Aquatic Conservation Marine and Freshwater Ecosystems* v.15, n.5, p.427 – 446, 2005. DOI: 10.1002/aqc.707

BLEISCHWITZ, R.; JOHNSON, C.M.; DOZLER, M.G. Re-Assessing resource dependency and criticality. Linking future food and water stress with global resource supply vulnerabilities for foresight analysis. *Eur J Futures Res.*, v.15:34, 2014. DOI 10.1007/s40309-013-0034-1.

BOGARDI, J.J.; DUDGEON, D.; LAWFORD, R.; FLINKERBUSCH, E.; MEYN, A.; PAHL-WOSTL, C.; Vielhauer, K.; Vorosmarty, C. Water security for a planet under pressure: interconnected challenges of a changing world call for sustainable solutions. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, p.35–43, 2012. DOI 10.1016/j.cosust.2011.12.002.

BOLLMANN, H.A.; MARQUES, D.M.L. da.M. Influência da densidade populacional nas relações entre matéria orgânica carbonácea, nitrogênio e fósforo em rios urbanos situados em áreas com baixa cobertura sanitária. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v.11, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000400007>

BÖRNER, J.; BAYLIS, K.; CORBERA, E.; EZZINE-DE-BLAS, D.; HONEY-ROSÉS, J.; PERSSON, U.M.; WUNDER, S. The Effectiveness of Payments for Environmental Services. *World Development*, v.96, p.359-374, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.03.020>

BOTELHO, A.; FERREIRA, P.; LIMA, F.; PINTOD, L. M. C.; SOUSA, S. Assessment of the environmental impacts associated with hydropower. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.271>.

BRASIL - Governo Federal. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. DOU de 14 .1.2005.

_____. Constituição Da República Federativa Do Brasil De 1988. Brasília, 5 de outubro de 1988.

_____. Portal brasileiro de dados abertos. Disponível em.< <http://dados.gov.br/>>. Acesso em: março de 2019a.

_____. Decreto Nº 9.666, de 2 de janeiro de 2019. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério do Desenvolvimento Regional. D.O.U de 2.1.2019b.

_____. Decreto Nº 9.667, de 2 de janeiro de 2019. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. D.O.U de 2.1.2019c.

_____. Decreto Nº 9.675, de 2 de janeiro de 2019. Aprova a Estrutura Regimental e o Quadro Demonstrativo dos Cargos em Comissão e das Funções de Confiança do Ministério de Minas e Energia. D.O.U de 2.1.2019d.

_____. Decreto nº 9.745, de 8 de abril de 2019. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9745.htm#art13>. Acesso em janeiro 2019e.

_____. Medida Provisória nº 870 de 1 de janeiro de 2019. Estabelece a organização básica dos órgãos da Presidência da República e dos Ministérios. DOU de 3.1.2019f.

_____. Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA. Publicada no D.O.U. de 18.7.2000a.

_____. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. D.O. de 25.7.2000b.

_____. Lei nº 9433 de 08 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. Publicada no D.O.U. em 09 de janeiro de 1997a.

_____. Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. Dispõe sobre a política energética nacional. D.O.U de 7.8.1997b.

_____. Lei nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. DOU de 8.1.2007 e retificado em 11.1.2007.

_____. Lei nº 11.326, de 24 de julho de 2006. Estabelece as diretrizes para a formulação da Política Nacional da Agricultura Familiar e Empreendimentos Familiares Rurais. DOU de 25.7.2006a.

_____. Lei nº 11.346, de 15 de setembro de 2006. DOU de 18.9.2006b.

_____. Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002. DOU de 29.4.2002 (Edição extra).

_____. Lei nº 13.280, De 3 de maio de 2016. DOU de 4.5.2016.

_____. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). DOU de 27.12.2017.

_____. Lei nº 10.823, de 19 de dezembro de 2003. DOU de 22.12.2003 e retificado em 30.8.2010.

_____. Lei nº 12.787, de 11 de janeiro de 2013. Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação. DOU de 14.1.2013.

_____. Lei nº 13.702, de 6 de agosto de 2018. DOU de 7.8.2018a.

_____. Decreto nº 9.357, de 27 de abril de 2018. Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - “LUZ PARA TODOS”. DOU de 30.4.2018b.

_____. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens. DOU de 21.9.2010a.

_____. Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010. DOU de 12.1.2010b.

_____. Lei nº 13.153, de 30 de julho de 2015. Institui a Política Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca. DOU de 31.7.2015.

_____. Lei nº 8.171, de 17 de janeiro de 1991. Dispõe sobre a política agrícola. DOU de 18.1.1991.

_____. Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. DOU de 18.10.2001

_____. Lei nº 10.847, de 15 de março de 2004. Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética – EPE. D.O.U. de 16.3.2004.

_____. Decreto nº 7.535 de 26 de julho de 2011 Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Água - “Água Para Todos”. DOU de 27.7.2011

_____. Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005. D.O.U. de 28.3.2005.

BREEZE, P. Critical thinking: Ultra and supercritical technology focus, 2017. Power Engineering International. Disponível em: < <https://www.powerengineeringint.com/coal-fired/critical-thinking/> >. Acesso em: julho 2018.

BRÉTHAUT, C.; GALLAGHER, L.; DALTON, J.; ALLOUCHE, J. Power dynamics and integration in the water-energy-food nexus: Learning lessons for transdisciplinary research in Cambodia. *Environmental Science & Policy*, v. 94, p. 153-162, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.01.010>

BROUWER, F.; AVGERINOPOULOS, G.; FAZEKAS, D.; LASPIDOU, C.; MERCURE, J-F.; POLLITT, H.; RAMOS, E.P.; HOWELLS, M. Energy modelling and the Nexus concept. *Energy Strategy Reviews*, v.19, p.1-6, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2017.10.005>

BRUNING, J. Avaliação energética de métodos de controle de taxa de aplicação em sistemas de irrigação por aspersão convencional. Dissertação (Mestrado em engenharia agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2018.

BUENO, E. de O.; MELLO, C. R. de; ALVES, G. J. Evaporation from Camargos hydropower plant reservoir: water footprint characterization. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, p. 570-575, 2016.

BURNETT, K.M.; WADA, C.A.; TANIGUCHI, M.; SUGIMOTO, R.; TAHARA, D. Evaluating the Tradeoffs between Groundwater Pumping for Snow-Melting and Nearshore Fishery Productivity in Obama City, Japan. *Water*, v.10, 1556, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10111556>

BUZAN, T. Mapas mentais e sua elaboração – Um sistema definido que mudará a sua vida. Tradução: Euclides Luiz Calloni, Cleusa Margô Wosgrau. São Paulo, Cultrix, 2005.

CABRAL, C.B.G. Avaliação da produção de biogás para fins energéticos em reatores anaeróbios tratando esgoto sanitário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

CAIRNS, R.; KRZYWOSZYNSKA, A. Anatomy of a buzzword: The emergence of ‘the water-energy-food nexus’ in UK natural resource debates. *Environmental Science & Policy*, v.64, p.164–170, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.07.007>

CAIXETA, F. Water-Energy-Food nexus status in Brazil. *Journal of Bioenergy and Food Science*, v.6, n.2, p. 29-40. DOI: 10.18067/jbfs.v6i2.244.

CAMPANA, P.E.; ZHANG, J.; YAO, T.; ANDERSSON, S.; LANDELIUS, T.; MELTON, F.; YAN, J. Managing agricultural drought in Sweden using a novel spatially-explicit model

from the perspective of water-food-energy nexus. *Journal of Cleaner Production* 197, p. 1382-1393, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.096>

CAMPOLINA, J.M.; SIGRIST, C.S.L. MORIS, V.A.da.S. Uma revisão de literatura sobre softwares utilizados em estudos de Avaliação do Ciclo de Vida. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM Santa Maria*, v.19, n. 2, p. 735-750, 2015. DOI: 105902/2236117015494

CAMPOS, J. L.; VALENZUELA-HEREDIA, D.; PEDROUSO, A.; VAL DEL RÍO, A.; BELMONTE, M.; MOSQUERA-CORRAL, A. Greenhouse Gases Emissions from Wastewater Treatment Plants: Minimization, Treatment, and Prevention. *Journal of Chemistry*, 2016.

CAMPOS, V. N. de O.; FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. *Ambiente & Sociedade*, Campinas: v. 13, n. 2, 2010. 365-382p.

CANNING, P.; CHARLES, A.; HUANG, S.; POLENSKE, K.R.; WATERS, A. Energy Use in the U.S. Food System. Economic Research Service, U.S. Department of Agriculture, 2010.

CARDOSO, F. B. da F.; OLIVEIRA, F. R. de; NASCIMENTO, F. S. do; NETO, P. L. V.; FLORES, P. M. Poços tubulares construídos no Brasil. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2008.

CARDOSO, T.de.F. Avaliação socioeconômica e ambiental de sistemas de recolhimento e uso da palha de cana-de-açúcar. Tese (Doutorado em Engenharia agrícola) - Universidade Estadual De Campinas, Campinas, 2014.

CARMO, R.L.do; OJIMA, A.L.R.de.O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T.T. do. Virtual water, scarcity and management: Brazil as a large water exporter. *Ambiente & sociedade*, 4, 2008.

CARNEIRO, A.C.G. Uma análise econômica de mudanças no uso da terra e produção de matéria-prima do etanol no Brasil: O papel da disponibilidade de água para o setor de irrigação. Tese (Doutorado em economia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

CAROLLI, M.; GENELETTI, D.; ZOLEZZI, G. Assessing the impacts of water abstractions on river ecosystem services: an eco-hydraulic modelling approach. *Environmental Impact Assessment Review*, v. 63, p.136–146, 2017.

CARVALHO, J. H. da S. Conservação de água, tratamento, reuso e reciclo de efluentes em refinaria de petróleo. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.

CASTILLO, R.M.; FENG, K.; SUN, L.; GUILHOTO, J.; PFISTER, S.; MIRALLES-WILHELM, F.; HUBACEK, K. The land-water nexus of biofuel production in Brazil: Analysis of synergies and trade-offs using a multiregional input-output model. *Journal of Cleaner Production*, v. 214, p. 52-61, 2019. DOI:10.1016/j.jclepro.2018.12.264.

CASTRO, C.N.de. Gestão das águas: experiências internacional e brasileira. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada/IPEA, Brasília, 2012.

CASTRO, C.N.de. O Programa Nacional De Produção E Uso Do Biodiesel (PNPB) E A Produção De Matéria-Prima De Óleo Vegetal No Norte E No Nordeste. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada/IPEA, Rio de Janeiro, 2011.

CBHSF – Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Módulo 1. Resumo Executivo. Plano Decenal de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco PBHSF (2016-2025).

CENTRE FOR COMPLEXITY SCIENCE. Imperial College London. Disponível em:<<https://www.imperial.ac.uk/complexity-science>>. Acesso em abril 2020.

CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Boletim PIB do agronegócio brasileiro. 2018.

CGU – Controladoria Geral da União. Relatório preliminar de avaliação – Projeto Interáguas: Exercício 2018 – 2019. Secretaria Federal de Controle Interno, 2019.

CHANG, W.; HUANG, R.; RIES, R.J.; MASANET, E. Shale-to-well energy use and air pollutant emissions of shale gas production in China. *Applied Energy*, v. 15, p. 147–157, 2014.

CHANG, Y.; LI, G.; YAO, Y.; ZHANG, L.; YU, C. Quantifying the Water-Energy-Food Nexus: Current Status and Trends. *Energies*, v.9, n.65, 2016. <https://doi.org/10.3390/en9020065>

CHAPAGAIN, A.K.; TICKNER, D. Water Footprint: Help or Hindrance? *Water Alternatives*, v.5, n.3, p. 563-581, 2012.

CHEN, S. S.; SUN, Y.; TSANG, D. C. W.; GRAHAM, N. J. D.; SIK OK, Y.; FENG, Y.; LI, XIANG-DONG. Potential impact of flowback water from hydraulic fracturing on agricultural soil quality: Metal/metalloid bioaccessibility, Microtox bioassay, and enzyme activities. *Science of the Total Environment*, v. 579, p. 1419–1426, 2017.

CHEN, X.; XU, B.; ZHENG, Y.; ZHANG, C. Nexus of water, energy and ecosystems in the upper Mekong River: A system analysis of phosphorus transport through cascade reservoirs. *Science of The Total Environment*, v. 671, p. 1179-1191, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.324>

CHEN, Y.; ZHANG, D.; SUN, Y.; LIU, X.; WANG, N.; SAVENIJE, H.H.G. Water demand management: A case study of the Heihe River Basin in China. *Physics and Chemistry of the Earth*, v.30, p. 408 – 419, 2005.

CHENG, S.; LI, Z.; Uddin, S.M.N.; Mang, H-p.; Zhou, X.; ZHANG, J.; ZHENG, L.; ZHANG, L. Toilet revolution in China. *Journal of Environmental Management*, v.216, p.347-356, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.043>

CHERCHI, C.; KESAANO, M.; BADRUZZAMAN, M.; SCHWAB, K.; JACANGELO, J.G. Municipal reclaimed water for multi-purpose applications in the power sector: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 236, p. 561-570, 2019. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.10.102

CHERNICHARO, C.A.de.L.; STUETZ, R.M.; SOUZA, C.L.; MELO, G.C.B. de. Alternativas para o controle de emissões odorantes em reatores anaeróbios tratando esgoto doméstico. *Eng Sanit Ambient*, v.15, n.3, p. 229-236, 2010.

CHESF - Companhia Hidrelétrica do São Francisco. Usina solar flutuante de Sobradinho. Centro de Referência em Energia Solar de Petrolina/cresp. Disponível em:<<https://www.chesf.gov.br/pdi/Documents/Usina%20Solar%20Flutuante.pdf>>. Acesso em novembro 2019.

CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. *Revista Ciência Exatas*, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 37-46, 2006.

CLASSE, T.M.de; RIBEIRO, C.B.de. M.; ROCHA, W.S.D.da; OTÊNIO, M.H. Water Footprint Assessment: innovation tool in Brazilian water Governance. In: XVI World Water Congress, Cancun/México, 2017.

CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Proposta para o plano agrícola e pecuário 2018/2019. CNA, 2019. Disponível em:< <https://www.cnabrazil.org.br/estudos/propostas-da-cna-para-o-plano-agricola-e-pecuario-20182019>>. Acesso em julho 2019.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA Uso da Água no Setor Industrial Brasileiro: Matriz De Coeficientes Técnicos. CNI, Brasília, 2013.

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Chamada MCTIC/CNPq N° 19/2017 – NEXUS I: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Caatinga e Cerrado. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC, 2017a.

_____. Chamada MCTIC/CNPq N° 20/2017 – NEXUS II: Pesquisa e Desenvolvimento em Ações Integradas e Sustentáveis para a Garantia da Segurança Hídrica, Energética e Alimentar nos Biomas Pampa, Pantanal e Mata Atlântica. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações – MCTIC, 2017b.

COELHO, C. D. Estimativas da evaporação e da pegada hídrica dos reservatórios das usinas hidrelétricas de Tucuruí-PA e Lajeado-TO. Dissertação (Mestrado em Magister Scientiae) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2016.

COLLISCHONN, W.; AGRA, S.G.; FREITAS, G.K.; PRIANTE, G.; TASSI, R. & SOUZA, C.F. Em busca do Hidrograma Ecológico. In *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. ABRH. João Pessoa-PB, 2005, CD-ROM.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Portal de Informações Agropecuárias. Disponível em:< <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/>>. Acesso em: jan. 2019.

COPELAND, C.; CARTER, N.T. Energy-Water Nexus: The Water Sector's Energy Use. Congressional Research Service, 2017.

CÔRTEZ, P.L.; TORRENTE, M.; PINTO, A.P.A.; RUIZ, M.S.; DIAS, A.J.G.; RODRIGUES, r. Crise de abastecimento de água em São Paulo e falta de planejamento estratégico. *Estud. av.*, v.29, n.84, 2015. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142015000200002>

COSTA, F.B. Ambiente institucional no crédito rural: Avanços e retrocessos. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTONK, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, London, v.387, 6630, p. 253–260, 1997.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Programa de água subterrânea para o semi-árido brasileiro. Ministério de Minas e Energia, 2000.

- CRUTZEN, P.J.; MOSIER, A.R.; SMITH, K.A.; WINIWARTER, W. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmospheric Chemistry and Physics*, v.8, p. 389–395, 2008.
- DACCACHE, A.; CIURANA, J. S.; DIAZ, J.A.R.; KNOX, J.W. Water and energy footprint of irrigated agriculture in the Mediterranean region. *Environmental Research Letters*, v.9, 2014. DOI:10.1088/1748-9326/9/12/124014
- DAHER, B.; MOHTAR, R.H.; LEE, S.H.; ASSI, A. Modeling the Water-Energy-Food Nexus: A 7-Question Guideline. In: *Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices*; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, 2017; 229, p. 57.
- DAHER, B.T.; MOHTAR, R.H. Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. *Water International*, p.1941-1707, 2015. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2015.1074148>
- DAI, J.; WU, S.; HAN, G.; WEINBERG, J.; XIE, X.; WU, X.; SONG, X.; JIA, B.; XUE, W.; YANG, Q. Water-energy nexus: A review of methods and tools for macro-assessment. *Applied Energy*, v.210, p.393-408, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.08.243>
- DALE, L.L.; KARALI, N.; MILLSTEIN, D.; CARNALL, M.; VICUÑA, S.; BORCHERS, N.; BUSTOS, E.; O'HAGAN, J.; PURKEY, D.; HEAPS, C.; SIEBER, J.; COLLINS, W.D.; SOHN, M.D. An integrated assessment of water-energy and climate change in sacramento, California: how strong is the nexus? *Climatic Change*, v.132, p.223–235, 2015.
- DA-PING, X.; HONG-YU, G.; DAN, H. Discussion on the Demand Management of Water Resources. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 30, p. 408–419, 2005.
- DARGIN, J.; DAHER, B.; MOHTAR, R.H. Complexity versus simplicity in water energy food nexus (WEF) assessment tools. *Science of The Total Environment*, v.650, p.1566-1575, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.080>
- DAVIES, M. Concept mapping, mind mapping and argument mapping: what are the differences and do they matter? *High Educ*, v.62, p.279–301, 2011. DOI 10.1007/s10734-010-9387-6
- DE LAURENTIIS, V.; HUNT, D.V.L.; ROGERS, C.D.F. Overcoming Food Security Challenges within an Energy/Water/Food Nexus (EWFN) Approach. *Sustainability*, 8, 95, 2016. <https://doi.org/10.3390/su8010095>
- DE STRASSER, L.; LIPPONEN, A.; HOWELLS, M.; STEC, S.; BRÉTHAUT, C. A Methodology to Assess the Water Energy Food Ecosystems Nexus in Transboundary River Basins. *Water*, v.8, n.59, 2016. <https://doi.org/10.3390/w8020059>
- DELLAMATRICE, P.M.; MONTEIRO, R.T.R. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.12, 2014. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n12p1296-1301>
- DELONGE, M.; BASCHE, A. Leveraging agroecology for solutions in food energy and water. *Elem Sci Anth*, v.5, n.6, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.211>
- DEMEKE, T. A.; MARENCE, M.; MYNETT, A. E. Evaporation from reservoirs and the hydropower water footprint. *Conference Paper*, 2013.
- DENOYER, T.A.; PESCHEL, J.M.; ZHANG, Z.; STILLWELL, A.S. Integrating water resources and power generation: The energy–water nexus in Illinois. *Applied Energy*, v. 162, p. 363–371, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.071>

DEVEZA, A. C. P. O nexu água-energia-alimento na operação de sistemas hidrotérmicos: estudo de caso da Bacia do rio São Francisco. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

DIANNI, C. ANA reforça apoio ao Programa Água Doce. ANA, 2015. Disponível em:< <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/ana-reforassa-apoio-ao-programa-agua-doce.2019-03-15.8897080539>>. Acesso em: novembro de 2019.

DIEPOLDER, P., Is “zero discharges” realistic? *Hydrocarbon Processing*, v. 71, n.10. p. 129-131, 1992.

DINIZ, J.A.O.; MONTEIRO, A.B.; SILVA, R.de.C.da; PAULA, T.L.F.de. Mapa hidrogeológico do Brasil ao milionésimo. CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2014, 45p.

DODDER, R.S. A review of water use in the U.S. electric power sector: insights from systems-level perspectives. *U.S. Environmental Protection Agency Papers*, v.5, p. 7–14, 2014.

DODDS, F.; BARTRAM, J. The water, food, energy and climate nexus: Challenges and an agenda for action. *Earthscan Studies in Natural Resource Management*, London, New York, Routledge, 2016.

DOMINGUES, A.S.; BERMANN, C. “O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja”. *Ambient. soc.*, v.15, n.2, 2012.

DOMINGUEZ-FAUS, R.; POWERS, S.E.; BURKEN, J.G.; ALVAREZ, P.J. The water footprint of biofuels: a drink or drive issue. *Environ Sci Technol*, 43, p.3005–3010, 2009.

DUBE, S.K. Technical analysis for preferring more efficient and green technology for thermal power generation: “Advanced-Ultra Supercritical 760°C”. *International Journal of Scientific and Research Publications*, v.8, n.11, 2018. DOI: 10.29322/IJSRP.8.11.2018.p8367

EEA - European Environmental Agency. Public participation: contributing to better water management - Experiences from eight case studies across Europe. In: *European Environmental Agency*, n.3, 2014.

EFTELIOGLU, E., JIANG, Z., ALI, R., SHEKHAR, S. Spatial computing perspective on food energy and water nexus. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, v.6, p.62–76, 2016.

ELETROBRAS. Proinfa. Disponível em:< <https://eletrobras.com/pt/Paginas/Proinfa.aspx>>. Acesso em: novembro 2019.

ELETROBRAS. PROCEL INFO: Centro de informações de eficiência energética. Disponível em:< <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>>. Acesso em: janeiro 2020.

ELETROBRAS. Resultados Procel: Programa Nacional de Conservação de Energia – 2018: Ano base 2017. Superintendência de Gestão de Participações em SPE e Programas de Governo, Eletrobrás, 2018.

EMBID, A.; MARTÍN, L. El Nexu entre el agua, la energia y la alimentación en América Latina y el Caribe Planificación, marco normativo e identificación de interconexiones prioritárias. *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, n. 179, 2017.

EMBID, A.; MARTÍN, L. Lineamientos de políticas públicas: Un mejor manejo de las interrelaciones del Nexu entre el agua, la energia y la alimentación. In: *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)/Serie Recursos Naturales e Infraestructura*, n. 189, 2018. Disponível em:

https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44183/1/S1800859_es.pdf. Acesso em mar. 2019.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Avaliação da sustentabilidade do Programa cisternas do MDS em Parceria com a ASA (Água-Vida). FUNDER/FAO-Embrapa Semiárido-SAGI/DAM/MDS, Petrolina-PE, 2009.

_____. BDPA - Base de dados da Pesquisa Agropecuária. Disponível em:< <https://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/>>. Acesso em: jan. 2019a.

_____. Goinfo – Estrutura de dados espaciais da EMBRAPA. Disponível em:< <http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/>>. Acesso em: jan. 2019b.

_____. Produção animal e recursos hídricos - Tecnologias para manejo de resíduos e uso eficiente dos insumos. Embrapa Pecuária Sudeste Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, 2019c.

_____. Mapeamento da agricultura irrigada com pivô central no Brasil – 2013. EMBRAPA, 2014a.

_____. O futuro de desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira. 2014b.

_____. Monitoramento de Expansão Agropecuária na Região Oeste da Bahia. 2002.

_____. VISÃO 2030 - O Futuro da Agricultura Brasileira. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Brasília, DF, 2018, 213p.

ENDO, A.; BURNETT, K.; ORENCIO, P.M.; KUMAZAWA, T.; WADA, C.; ISHII, A.; TSURITA, I.; TANIGUCHI, M. Methods of the Water-Energy-Food Nexus. *Water*, v.7, 2015. DOI: 10.3390/w7105806

ENDO, A.; TSURITA, I.; BURNETT, K.; ORENCIO, P.M. A review of the current state of research on the water,energy, and food nexus. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v.11, p.20–30, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2015.11.010>

ENGSTRÖM, R. E.; DESTOUNI, G.; HOWELLS, M.; RAMASWAMY, V.; ROGNER, H.; BAZILIAN, M. Cross-Scale Water and Land Impacts of Local Climate and Energy Policy—A Local Swedish Analysis of Selected SDG Interactions. *Sustainability*, v.11, 1847, 2019. DOI:10.3390/su11071847

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2019: Ano base 2018. Ministério de Minas e Energia/MME, Rio de Janeiro: EPE, 2019.

_____. Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017. Ministério de Minas e Energia/MME, Rio de Janeiro: EPE, 2018.

_____. Resenha Energética Brasileira. Ministério de Minas e Energia/MME, Rio de Janeiro: EPE, 2017.

_____. Procedimentos de Elaboração de Balanços Energéticos. Agência de Desenvolvimento do Nordeste. 2005.

_____. Séries históricas e estatísticas. Disponível em:< <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/>>. Acesso em: mar. 2019.

_____. Sistema de Informação Geográfica do Setor Energético brasileiro – WEB MAP EPE. Disponível em:< <https://gisepeprd.epe.gov.br/webmapepe/>>. Acesso em: Janeiro 2019.

EPPLER, M.J. A comparison between concept maps, mind maps, conceptual diagrams, and visual metaphors as complementary tools for knowledge construction and sharing. *Information Visualization*, 5, p. 202 - 210 2005.

EPRI – Electric Power Research Institute. *Water & Sustainability (Volume 3): U.S. Water Consumption for Power Production—The Next Half Century*, EPRI, Palo Alto, 2002.

ERBACH, G. Understanding energy efficiency. EPRS - European Parliamentary Research Service, 2015.

ERICKSON, W.P.; JOHNSON, G.D.; YOUNG JR., D.P. A Summary and Comparison of Bird Mortality from Anthropogenic Causes with an Emphasis on Collisions. US Department of Agriculture, US Forest Service. General Technical Report no. PSW–GTR-191, 2005.

ESCOBEDO, F. J.; GIANNICO, V.; JIM, C. Y.; SANESI, G.; LAFORTEZZA, R. Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 37, p. 3-12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.02.011>

FANG, D.; CHEN, B. Linkage analysis for the water–energy nexus of city. *Applied Energy*, 189, 770-779, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.04.020>

FACHINELLI, N.P. Impactos da produção de biocombustíveis sobre os recursos hídricos: estudo de caso da produção de etanol de cana-de-açúcar na bacia hidrográfica do rio Paranaíba. Dissertação (Mestrado em planejamento energético), Universidade Federal do Rio de Janeiro/ COPPE, Rio de Janeiro, 2013.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Energy-Smart Food For People And Climate*. FAO, Italy, 2011. Disponível em:< <http://www.fao.org/docrep/014/i2454e/i2454e00.pdf>>. Acesso em: janeiro, 2017.

_____. *Energy-Smart Food at FAO: An Overview*. Italy, 2012a.

_____. *The State Of Food And Agriculture Food - investing in agriculture for a better future*. FAO, Italy, 2012b.

_____. *Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias*. Brasília, 2017.

_____. *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* FAO, Roma 2013.

FAOSTAT - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. 2014. The Statistics Division of the FAO. Disponível em:< <http://faostat.fao.org/>>. Acesso em dezembro 2019.

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. Chamada de Propostas de Pesquisa: Mudanças climáticas e suas relações com Energia, Água e Agricultura. Programa FAPESP de Pesquisa sobre Mudanças Climáticas Globais (PFPMCG), 2015.

FBB/MMA/FUNARBE. Fundação Banco do Brasil/Ministério do Meio Ambiente/ Fundação de Apoio à Universidade de Viçosa. Relatório Técnico 6- Produto 6 – Relatório Final dos Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos das Atividades Industrial e Agricultura Irrigada. Desenvolvimento de matriz de coeficientes técnicos para recursos hídricos no Brasil Brasília, DF, 2011.

FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C.; DEMETRIO, J.G.A. Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações. Serviço geológico do Brasil – CPRM, 3ª Edição Revisada e ampliada, 2008.

FERREIRA FILHO, J. B. de S.; FELIPE, F. I. Crescimento da produção agrícola e o consumo de tratores de rodas no Brasil entre 1996 – 2005. In: XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia. 2007.

FERRER GISBERT, CM.; FERRAN GOZALVEZ, JJ.; REDÓN SANTAFÉ, M.; FERRER-GISBERT, P.; SÁNCHEZ-ROMERO, F.; TORREGROSA SOLER, JB. A new photovoltaic floating cover system for water reservoirs. *Renewable Energy*. v.60, p.63-70. DOI:10.1016/j.renene.2013.04.007

FGV - Fundação Getúlio Vargas. Boletim de conjuntura do setor energético. FGV Energia, 2019.

FIESP/CIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo/ Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. Panorama Da Indústria De Transformação Brasileira. Depto. de Economia, Competitividade e Tecnologia, 17ª Ed., 2019.

FLAMMINI, A.; PURI, M.; PLUSCHKE, L.; DUBOIS, O. Walking the Nexus Talk: Assessing the Water-Energy-Food Nexus: in the Context of the Sustainable Energy for All Initiative. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i3959e.pdf>. Acesso em: jan 2019.

FOLEY, J.A.; RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K.A.; CASSIDY, E.S.; GERBER, J.S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N.D.; O'CONNELL, C.; RAY, D.K.; WEST, P.C.; BALZER, C.; BENNETT, E.M.; CARPENTER, S.R.; HILL, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTROM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D.P.M. Solutions for a cultivated planet. *Nature*, v. 478, p. 337–342, 2011. DOI:10.1038/nature10452.

FONTANA, M.E.; MORAIS, D.C. Decision model to control water losses in distribution networks. *Production*, v.26, n.4, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.201815>

FORAN, T. Node and Regime: Interdisciplinary Analysis of Water-Energy-Food Nexus in the Mekong Region. *Water Alternatives*, v.8, n.1, p. 655-674, 2015.

FORNAZIER, A.; SOUZA, P. M. de; PONCIANO, N. J. A importância do seguro rural na redução de riscos da agropecuária. *Revista de Estudos Sociais*, v.28, n.14, 2012.

FREITAS, L.S.de; JÚLIO SILVA, J.C.da; OLIVEIRA, R.S.de. A falta de saneamento e o impacto ambiental em rios urbanos. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba, 2016.

FREITAS, S.; LUCON, O. Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel: A transição para um estilo de desenvolvimento sustentável. *Textos para Discussão*, n. 27, 2011.

FURTADO, D.A.; BARACUHY, J.G.de.V.; FRANCISCO, P.R.M.; FERNANDES NETO, S.; SOUSA, V.A. de. Tecnologias adaptadas para o desenvolvimento sustentável do semiárido Brasileiro. Campina Grande: EPGRAF, 2 v., 2014, 275 p.

GALLAGHER, L.; DALTON, J.; BRE´THAUT, C.; ALLAN, T.; BELLFIELD, H.; CRILLY, D.; CROSS, K.; GYAWALI, D.; KLEIN, D.; LAINE, S.; LEFLAIVE, X.; LI, L.; LIPPONEN, A.; MATTHEWS, N.; ORR, S.; PITTOCK, J.; RINGLER, C.; SMITH, M.; TICKNER, D.; VON SCHLIPPENBACH, U.; VUILLE, F. The critical role of risk in setting

directions for water, food and energy policy and research. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 23, p. 12-16, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2016.10.002>

GARCIA, D.; YOU, F. Systems engineering opportunities for agricultural and organic waste management in the food–water–energy nexus. *Current Opinion in Chemical Engineering*, v.18, p.23-31, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2017.08.004>

GARCIA, D.J.; LOVETT, B.M.; YOU, F. Considering agricultural wastes and ecosystem services in Food-Energy-Water- Waste Nexus system design. *Journal of Cleaner Production*, v.228, p.941-955, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.314>

GARCIA, J. R.; VIEIRA FILHO, J. E. R. Reflexões sobre o papel da política agrícola brasileira para o desenvolvimento sustentável. IPEA, 2014.

GERBENS-LEENES, P.W.; HOEKSTRA, A.Y.; MEER, TH.V.D. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecological Economics*, v.68, p.1052-1060, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.013>

GERBENS-LEENES, P.W.; HOEKSTRA, A.Y.; VAN DER MEER, T. The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply. *Ecol. Econ.* 68, p.1052–1060, 2009.

GERBENS-LEENES, W.; HOEKSTRA, A.Y.; VAN DER MEER, T.H. The water footprint of bioenergy. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Editorial Board, v. 106, n. 25, p. 10219 – 10223, 2009.

GERDES, K.; NICHOLS, C. Water Requirements for Existing and Emerging Thermoelectric Plant Technologies. National Energy Technology Laboratory, 2009.

GIAMPIETRO, M.; ASPINALL, R.J.; BUKKENS, S.G.F.; BENALCAZAR, J.C.; DIAZ-MAURIN, F.; FLAMMINI, A.; GOMIERO, T.; KOVACIC, Z.; MADRID, C.; RAMOS-MARTÍN, J.; SERRANO-TOVAR, T. An Innovative Accounting Framework for the Food-Energy-Water Nexus - Application of the MuSIASEM approach to three case studies. In: *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*, 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/3/i3468e/i3468e.pdf>. Acesso em 20 jan 2019.

GIATTI, L.L.; JACOBI, P.R.; FAVARO, A.K.M.; EMPINOTTI, V.L. O nexo água, energia e alimentos no contexto da Metrópole Paulista. *Estudos Avançados*, v.30, n.88, 2016.

GIATTI, L.L.; URBINATTI, A.M.; CARVALHO, C.M.de.; BEDRAN-MARTINS, A.M.; SANTOS, I.P.de.O.; HONDA, S.O.; FRACALANZA, A.P.; JACOBI, P.R. Nexos de exclusão e desafios de sustentabilidade e saúde em uma periferia urbana no Brasil. *Cad. Saúde Pública*, v.35, n.7, 2019.

GODFRAY, H.C.J.; BEDDINGTON, J.R.; CRUTE,I.R.; HADDAD,L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J.F.; PRETTY, J.; ROBINSON,8S.; THOMAS, S.M.; TOULMIN, C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, v.327, 2010. DOI: 0.1126/science.1185383.

GOETZ, R.U.; MARTÍNEZ, Y.; XABADIA, A. Efficiency and acceptance of new water allocation rules - the case of an agricultural water users association. *Science of The Total Environment*, v. 601–602, p. 614-625, 2017.

GOMES, M.A.F.; SOUZA, M.D.de; BOEIRA, R.C.; TOLEDO, L.G.de. Nutrientes Vegetais no Meio Ambiente: ciclos bioquímicos, fertilizantes e corretivos. Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, 2008.

GONDHALEKAR, D.; RAMSAUER, T. Nexus City: Operationalizing the urban Water-Energy-Food Nexus for climate change adaptation in Munich, Germany. *Urban Climate*, v.19, p.28-40, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2016.11.004>

GONTIJO JÚNIOR, W. C. Avaliação e redimensionamento de redes para o monitoramento fluviométrico utilizando o método Sharp e o conceito de entropia. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade de Brasília, Brasília, 2007.

GRENADE, R.DE; HOUSE-PETERS, L.; SCOTT, C.A.; THAPA, B.; MILLS-NOVOA, M.; GERLAK, A.; VERBIST, K. The nexus: reconsidering environmental security and adaptive capacity. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v.21, p.15–21, 2016.

GRIPP, V. S. Análise ambiental, energética, e econômica de arranjo processual para reúso de água em refinaria de petróleo. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

GU, Y.; WANG, H.; XU, J.; WANG, Y.; WANG, X.; ROBINSON, Z.P.; LI, F.; WU, J.; TAN, J.; ZHI, X. Quantification of interlinked environmental footprints on a sustainable university campus: A nexus analysis perspective. *Applied Energy*, v.246, p.65-76, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.04.015>

GUANAIS, A.L.R.; COHIM, E.B.; MEDEIROS, D.L. Avaliação energética de um sistema integrado de abastecimento de água. *Eng Sanit Ambient.*, v.22, n.6, p.1187-1196, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017146180

GUEDES PINTO, L .F.; GUEDES PINTO, L.C. Uma análise dos avanços e contradições da agricultura brasileira. *Perspectiva Imaflora-Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola*, nº 3, 2016.

GUEDES, F.; SZKLO, A.; ROCHEDO, P.; LANTZ, F.; MAGALAR, E.; ARROYO, E. M. V. Climate-energy-water nexus in Brazilian oil refineries. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v. 90, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2019.102815>

GUEDES, J.de.A. Poluição de rios em áreas urbanas. *Ateliê Geográfico*, v.5, n. 2, p.212-226. Goiânia-GO, 2011.

GUILLAUME, J.H.A.; KUMMU, M.; EISNER, S.; VARIS, O. Transferable Principles for Managing the Nexus: Lessons from Historical Global Water Modelling of Central Asia. *Water*, v.7, p.4200-4231, 2015. DOI:10.3390/w7084200

GUIMARÃES FRANCISCO, R. V. C. S. Análise da utilização de água por sistemas de resfriamento em termelétricas brasileiras movidas a carvão mineral, gás natural e combustível nuclear. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018.

GUMBO, B.; VAN DER ZAAG, P. Water losses and the political constraints to demand management: the case of the City of Mutare, *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 27, n.1, p. 805-813, 2002.

GUSH, M.; DZIKITI, S.; LAAN, M.V.D.; STEYN, M.; MANAMATHELA, S.; PIENAAR, H. Field quantification of the water footprint of an apple orchard, and extrapolation to watershed scale within a winter rainfall Mediterranean climate zone. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.271, p.135-147, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.042>

GWP - Global Water Partnership. Increasing water security – a development imperative. Perspective paper. Stockholm, Sweden: GWP, 2012.

GWP - Global Water Partnership. Integrated Water Resources Management. Technical Advisory Committee (TAC), GWP, 2000, 71p.

HADER, D-P.; KUMAR, H.D.; SMITH, R.C.; WORRES, R.C. Effects of enhanced solar ultraviolet radiation on aquatic ecosystems. *Photochemistry and Photobiology*, v. 53, n. 5, p. 111-125, 1991.

HAGUIUDA, C. Avaliação da eficiência energética em sistemas de Bombeamento de água da SABESP. In: 30º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente, AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp, 2019.

HAILEMARIAM, W.G.; SILALERTRUKSA, T.; GHEEWALA, S.H.; JAKRAWATANA, N. Water–Energy–Food Nexus of Sugarcane Production in Ethiopia. *Environmental Engineering Science*, v.36, 2019. DOI: 10.1089/ees.2018.0549

HAJKOWICZ, S.; COLLINS, K. A Review of Multiple Criteria Analysis for Water Resource Planning and Management. In: *Water Resour Manage* 21, p.1553–1566, 2007.

HANES, R. J.; GOPALAKRISHNAN, V.; BAKSHI, B. R. Including nature in the food-energy-water nexus can improve sustainability across multiple ecosystem services. *Resources, Conservation & Recycling*, 137, 214–228, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.003>.

HANLON, P.; MADEL, R.; OLSON-SAWYER, K.; RABIN, K.; ROSE, J. Food, Water and Energy: Know the nexus. GRACE - Communications Foundation Water and Energy Programs, 2013.

HARISHANKAR, S.; KUMAR, R. S.; SUDHARSAN K. P. Solar Powered Smart Irrigation System. *Advance in Electronic and Electric Engineering*, v.4, n.4, p. 341-346, 2014.

HARTO, C.; FINSTER, M.; SCHOROEDER, J.; CLARK, C. Saline water for power plant cooling: Challenges and opportunities. Environmental Science Division, Argonne National Laboratory, 2014.

HASTIK, R.; BASSO, S.; GEITNER, C.; HAIDA, C.; POLJANEC, A.; PORTACCIO, A.; VRSCAJ, B.; WALZER, C. Renewable energies and ecosystem service impacts. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 48, p. 608–623, 2015.

HAUPT, P. Energy-Water-Food Synergy Possibilities in Housing Environment. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, v.471, 2019. DOI:10.1088/1757-899X/471/9/092073

HAZARIKA, R.; JANDL, R. The Nexus between the Austrian Forestry Sector and the Sustainable Development Goals: A Review of the Interlinkages. *Forests*, v.10, 205, 2019. DOI:10.3390/f10030205.

HERNANDES, T.A.D.; BUFON, V.B.; SEABRA, J.E.A. Water footprint of biofuels in Brazil: assessing regional differences. *Biofuels, Bioprod. Bioref.*, 2013. DOI: 10.1002/bbb.

HERNANDEZ, R.R.; EASTER, S.B.; MURPHY-MARISCAL, M.L.; MAESTRE, F.T.; TAVASSOLI, M.; ALLEN, E.B.; BARROWS, C.W.; BELNAP, J.; OCHOA-HUESO, R.; RAVI, S.; ALLEN, M.F. Environmental impacts of utility-scale solar energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 29, p.766–779, 2014.

HILL, J.; NELSON, E.; TILMAN, D.; POLASKY, S.; TIFFANY, D. Environmental, economic, and energetic costs and benefits of biodiesel and ethanol biofuels. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, p. 11206–11210, 2006.

HOEKSTRA, A.Y.; CHAPAGAIN, A.K.; ALDAYA, M.M.; MEKONNEN, M.M. The water footprint assessment manual: Setting the global standard. London: Earthscan. 203p., 2011.

HOFF, H. Understanding the Nexus. Background Paper for the Bonn 2011. In: Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus, Stockholm Environment Institute – SEI, 2011. Disponível em: http://wef-conference.gwsp.org/fileadmin/documents_news/understanding_the_nexus.pdf. Acesso em 15 jul. 2019.

HOLT, N.; SHUKLA, S.; HOCHMUTH, G.; MUÑOZ-CARPENA, R.; OZORES-HAMPTON, M. Transforming the food-water-energy-land-economic nexus of plasticulture production through compact bed geometries. *Advances in Water Resources*, v.110, p.515-527, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.04.023>

HOLOHAN, C.; LARKIN, A.; MCLACHLAN, C.; FALCONER, R.; SOUTAR, I.; SUCKLING, J.; VARGA, L.; HALTAS, I.; DRUCKMAN, A.; LUMBROSO, D.; SCOTT, M.; GILMOUR, D.; LEDBETTER, R.; MCGRANE, S.; MITCHELL, C.; YU, D. Engaging stakeholders in research to address water–energy–food (WEF) nexus challenges. *Sustainability Science*, v.13, p.1415–1426, 2018. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0552-7>

HOWARTH, C.; MONASTEROLO, I. Understanding barriers to decision making in the UK energy-food-water nexus: The added value of interdisciplinary approaches. *Environmental Science & Policy*, v.61, p.53–60, 2016.

HOWELLS, M.; HERMANN, S.; WELSCH, M.; BAZILIAN, M.; SEGERSTRÖM, R.; ALFSTAD, T.; GIELEN, D.; ROGNER, H.; FISCHER, G.; VELTHUIZEN, H.V.; WIBERG, D.; YOUNG, C.; ROEHL, R.A.; MUELLER, A.; STEDUTO, P.; RAMMA, I. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies. *Nature Climate Change*, v.3, p.621–626, 2013.

HU, M-C.; FAN, C.; HUANG, T.; WANG, C-F.; CHEN, Y-H. Urban Metabolic Analysis of a Food-Water-Energy System for Sustainable Resources Management. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v.16, 90, 2019. DOI:10.3390/ijerph16010090

HUCKLEBERRY, J. K.; POTTS, M. D. Constraints to implementing the food-energy-water nexus concept: Governance in the Lower Colorado River Basin. *Environmental Science and Policy*, v.92, p.289–298, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.11.027>

HURFORD, A. P.; HAROU, J. J. Balancing ecosystem services with energy and food security – assessing trade-offs for reservoir operation and irrigation investment in Kenya’s Tana basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, v.11, p.1343–1388, 2014. DOI:10.5194/hessd-11-1343-2014

HUSSEY, K.; PITTOCK, J. The Energy–Water Nexus: Managing the Links between Energy and Water for a Sustainable Future. *Ecology and Society*, v. 17, n. 1, 2012. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-04641-170131>

HUSSIEN, W.A.; MEMON, F.A.; SAVIC, D.A. A risk-based assessment of the household water-energy-food nexus under the impact of seasonal variability. *Journal of Cleaner Production*, v.171, p.1275-1289, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.094>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A Geografia da Cana-de-Açúcar. IBGE/Coordenação de Geografia. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

_____. Censo Agro 2017. Disponível em: < <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/> >. Acesso em: dez. 2018.

_____. SIDRAS – Banco de tabelas estatísticas. Disponível em:<<https://sidra.ibge.gov.br/home/pnadcm>>. Acesso em novembro de 2019.

IEA - International Energy Agency. Key World Energy Statistics, 2016. Disponível em:<<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2016.pdf>>. Acesso em: março, 2017.

IEMA - Instituto de Energia e Meio Ambiente. Uso de água em termoeletricas. São Paulo, IEMA, 2016.

IIED – International Insitute for Environment and Development. Water ecosystem services and poverty reduction under climate change. 2007.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. TerraBrasilis. Disponível em:<<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/>>. Acesso em: julho de 2019.

INSA – Instituto Nacional do semiárido. Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido brasileiro (SIGSAB). Disnponível em:<<http://sigsab.insa.gov.br/>>. Acesso em novembro 2019.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change .Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.

_____. Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, p. 3-21, 2012.

IRENA. Synergies between renewable energy and energy efficiency, a working paper based on REmap. International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, 121p., 2017.

JACOBSON, M.Z. Review of solutions to global warming, air pollution, and energy security. Energy & Environmental Science, 2008. DOI: 10.1039/b809990c.

JALILOV, S-M.; KESKINEN, M.; VARIS, O.; AMER, S.; WARD, F. A. Managing the water–energy–food nexus: Gains and losses from new water development in Amu Darya River Basin. Journal of Hydrology, 539, 648–661, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.071>

JALILOV, S-M.; VARIS, O.; KESKINEN, M. Sharing Benefits in Transboundary Rivers: An Experimental Case Study of Central Asian Water-Energy-Agriculture Nexus. Water, v.7, p.4778-4805, 2015. <https://doi.org/10.3390/w7094778>

JARVIE, H.P.; SHARPLEY, A.N.; FLATEN, D.; KLEINMAN, P.J.A.; JENKINS, A.; SIMMONS, T. The pivotal role of phosphorus in a resilient water-energy food security Nexus. J Environ Qual., v. 44, p. 1049-1062, 2015. DOI:10.2134/jeq2015.01.0030.

JIANG, S.; WANG, J.; ZHAO, Y.; SHANG, Y.; GAO, X.; LI, H.; WANG, Q.; ZHU, Y. Sustainability of water resources for agriculture considering grain production, trade and consumption in China from 2004 to 2013. Journal of Cleaner Production, v. 149, p.1210-1218, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.103>

- JONES, N.F.; PEJCHAR, L.; KIESECKER, J.M. The Energy Footprint: How Oil, Natural Gas, and Wind Energy Affect Land for Biodiversity and the Flow of Ecosystem Services. *BioScience Advance Access*, 2015. DOI: 10.1093/biosci/biu224.
- JORDÃO, E.P. Eficiência energética em tratamento de esgotos - Economy of energy in wastewater treatment. *Revista DAE*, 2008. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2014.014>
- JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. Tratamento de esgotos domésticos. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 5^o Edição, Rio de Janeiro, 2009, 940p.
- KADDOURA, S.; KHATIB, S. E. Review of water-energy-food Nexus tools to improve the Nexus modelling approach for integrated policy making. *Environmental Science & Policy*, v.77, p.114-121, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.007>
- KALAIR, A. R.; ABAS, N.; HASAN, Q. U.; KALAIR, E.; KALAIR, A.; KHAN, N. Water, energy and food nexus of Indus Water Treaty: Water Governance. *Water-Energy Nexus*, v. 2, p. 10-24, 2019.
- KANG, S.; HAO, X.; DU, T.; TONG, L.; SU, X.; LU, H.; LI, X.; HUO, Z.; LI, S.; DING, R. Improving agricultural water productivity to ensure food security in China under changing environment: From research to practice. *Agricultural Water Management*, 179, 5-17, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.05.007>
- KARABULUT, A.; EGOH, B.N.; LANZANOVA, D.; GRIZZETTI, B.; BIDOGLIO, G.; PAGLIERO, L.; PAGLIERO, F.; ALOE, A.; REYNAUD, A.; MAES, J.; VANDECASTEELE, I.; MUBAREKA, S. Mapping water provisioning services to support the ecosystem–water–food–energy nexus in the Danube river basin. *Ecosystem Services*, v. 17, p. 278-292, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.08.002>
- KARABULUT, A.A.; CRENNNA, E.; SALA, S.; UDIAS, A. A proposal for integration of the ecosystem-water-food-land-energy (EWFLE) nexus concept into life cycle assessment: A synthesis matrix system for food security. *Journal of Cleaner Production*, v.172, p.3874-3889, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.05.092>
- KARABULUT, A.A.; UDIA, A.; VIGIAK, O. Assessing the policy scenarios for the Ecosystem Water Food Energy (EWFE) nexus in the Mediterranean region. *Ecosystem Services*, v.35, p.231–240, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2018.12.013>
- KARLBERG, L.; HOFF, H.; AMSALU, T.; ANDERSSON, K.; BINNINGTON, T.; FLORES-LÓPEZ, F.; DE BRUIN A.; GEBREHIWOT, S.G.; GEDIF, B.; ZUR HEIDE, F.; JOHNSON, O.; OSBECK, M.; YOUNG, C. Tackling complexity: Understanding the food-energy-environment nexus in Ethiopia’s Lake Tana Sub-basin. *Water Alternatives*, v.8, p.710-734, 2015.
- KESKINEN, M.; SOMETH, P.; SALMIVAARA, A.; KUMMU, M. Water-Energy-Food Nexus in a Transboundary River Basin: The Case of Tonle Sap Lake, Mekong River Basin. *Water*, v.7, p.5416-5436, 2015.
- KIBLER, K.M.; REINHAR, D.; HAWKINS, C.; MOTLAGH, A.M.; WRIGHT, J. Food waste and the food-energy-water nexus: A review of food waste management alternatives. *Waste Management*, v.74, p.52–62, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.014>
- KILKIŞ, Ş. Benchmarking the sustainability of urban energy, water and environment systems and envisioning a cross-sectoral scenario for the future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 103, p. 529-545, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.006>

- KILKIS, S.; KILKIS, B. Integrated circular economy and education model to address aspects of an energy-water-food nexus in a dairy facility and local contexts. *Journal of Cleaner Production*, v.167, p.1084-1098, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.178>
- KING, C.W.; CARBAJALES-DALE, M. Food–energy–water metrics across scales: project to system level. *J Environ Stud Sci.*, v.6, p. 39–49, 2016. DOI 10.1007/s13412-016-0390-9
- KING, C.W.; STILLWELL, A.S.; TWOMEY, K.M.; WEBBER, M.E. Coherence Between Water and Energy Policies. *Natural Resources Journal*, 2013.
- KINGSTON, P.F. Long-term Environmental Impact of Oil Spills. *Spill Science & Technology Bulletin*, v. 7, n. 1–2, p. 53–61, 2002.
- KIZILGOL, O.; KILIC, B.I.; ABDIOGLU, H. The Effects Of Using The Concept Mapping And The Traditional Method On The Academic Achievement Of Students In Learning The Fundamental Topics Of Cost Accounting. *Journal of Business, Economics and Finance – JBEF*, 5, 2016. DOI: 10.17261/Pressacademia.2016219260
- KLING, C.L.; ARRITT, R.W.; CALHOUN, G.; KEISER, D.A. Integrated Assessment Models of the Food, Energy, and Water Nexus: A Review and an Outline of Research Needs”. *Review in Advance, University of Newcastle, Australia*, v.9, p.143-163, 2017.
- KONDASH, A.J.; ALBRIGHT, E.; VENGOSH, A. Quantity of flowback and produced waters from unconventional oil and gas exploration. *Science of the Total Environment*, p. 314–321, 2017.
- KRAUCUNAS, I.; CLARKE, L.; DIRKS, J.; HATHAWAY, J.; HEJAZI, M.; HIBBARD, K.; HUANG, M.; JIN, C.; KINTNER-MEYER, M.; VAN DAM, K.K.; LEUNG, R.; LI, H-Y.; MOSS, R.; PETERSON, M.; RICE, J.; SCOTT, M.; THOMSON, A.; VOISIN, N.; WEST, T. Investigating the nexus of climate, energy, water, and land at decision-relevant scales: the Platform for Regional Integrated Modeling and Analysis (PRIMA). *Climatic Change*, v.129, p.573–588, 2015.
- KUNZ, T.H.; ARNETT, E.B.; ERICKSON, W.P.; HOAR, A.R.; JOHNSON, G.D.; LARKIN, R.P.; STRICKLAND, M.D.; THRESHER, R.W.; TUTTLE, M.D. Ecological impacts of wind energy development on bats: questions, research needs, and hypotheses. *Front Ecol Environ*, v.5, n.6, p. 315–324, 2007.
- KURIAN, M. The water-energy-food nexus: Trade-offs, thresholds and transdisciplinary approaches to sustainable development. *Environmental Science & Policy*, v.68, p. 97–106, 2017.
- LAMBIN E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change: Human and Policy Dimensions*, Oxford, v.11, n.4, 2001.
- LARCOM, S.; GEVELT, T.V. Regulating the water-energy-food nexus: Interdependencies, transaction costs and procedural justice. *Environmental Science & Policy*, v.72, p. 55-64, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.03.003>
- LAWFORD R. G. A Design for a Data and Information Service to Address the Knowledge Needs of the Water-Energy-Food (W-E-F) Nexus and Strategies to Facilitate Its Implementation. *Frontiers In Environmental Science*, 7, 2019. DOI: 10.3389/fenvs.2019.00056

- LAWFORD, R.; BOGARDI, J.; MARX, S.; JAIN, S.; WOSTL, C. P.; KNUPPE, K.; RINGLER, C.; LANSIGAN, F.; MEZA, F. Basin perspectives on the Water–Energy–Food Security Nexus. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, n.5, p. 607–616, 2013.
- LECK, H.; CONWAY, D.; BRADSHAW, M.; REES, J. Tracing the Water–Energy–Food Nexus: Description, Theory and Practice. *Geography Compass*, 9/8, p. 445–460, 2015. <https://doi.org/10.1111/gec3.12222>
- LEESE, M.; MEISCH, S. Securitising Sustainability? Questioning the 'Water, Energy and Food-Security Nexus'. *Water Alternatives*, v. 8, n.1, p.695-709, 2015.
- LELE, U.; KLOUSIA-MARQUES, M.; GOSWAMI, S. Good governance for food, water and energy security. *Aquatic Procedia* v. 1, p. 44 – 63, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2013.07.005>
- LEMES, D. R. Disponibilidade hídrica para uma refinaria de petróleo sob a ótica da gestão dos recursos hídricos. Estudo de caso: Refinaria Duque de Caxias – REDUC. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- LI, G.; HUANG, D.; SUN, C.; LI, Y. Developing interpretive structural modeling based on factor analysis for the water-energy-food nexus conundrum. *Science of The Total Environment*, v.651, p.309-322, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.188>
- LI, M.; GUO, P.; SINGH, V. P. An efficient irrigation water allocation model under uncertainty. *Agricultural Systems* v.144, p.46–57, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2016.02.003>.
- LIENDEN, A.R.V.; GERBENS-LEENES, p.w.; HOEKSTRA, a y.; VAN DER MEER, t.h.h. Biofuel Scenarios In A Water Perspective: The Global Blue And Green Water Footprint Of Road Transport In 2030. UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2010.
- LIMA, R. N. S.; RIBEIRO, C. B. M.; BARBOSA, C. C. F.; FILHO, O. C. R. Estudo da poluição pontual e difusa na bacia de contribuição do reservatório da usina hidrelétrica de Funil utilizando modelagem espacialmente distribuída em Sistema de Informação Geográfica. *Eng Sanit Ambient*, v. 21, n. 1, p. 139-150, 2016. DOI: 10.1590/S1413-41520201600100127676
- LIMA, J.E.F.W.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. O USO DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL. In: FREITAS, M. A. V. de (Org.). *O estado das águas no Brasil: perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos*. Brasília: ANEEL/MME/MMA-SRH/OMM/PNUD, 1999.
- LINS, G. A. Impactos ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- LIU, J.; YANG, H.; CUDENNEC, C.; GAIN, A.K.; HOFF, H.; LAWFORD, R.; QI, J.; DE STRASSER, L.; YILLIA, P.T.; ZHENG, C. Challenges in operationalizing the water–energy–food nexus. *Hydrological Sciences Journal*, v.62, p.1714-1720, 2017. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1353695>
- LIU, Q. Interlinking climate change with water-energy-food nexus and related ecosystem processes in California case studies. *Ecological Processes*, p. 5 – 14, 2016. DOI 10.1186/s13717-016-0058-0.

- LIU, Y.; WANG, S.; CHEN, B. Water–land nexus in food trade based on ecological network analysis. *Ecological Indicators*, v.97, p.466-475, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.10.042>
- LOBATO, L.C.da.S. Aproveitamento energético de biogás gerado em reatores UASB tratando esgoto doméstico. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- LOGAN, L.H.; STILLWELL, A.S. Probabilistic assessment of aquatic species risk from thermoelectric power plant effluent: Incorporating biology into the energy-water nexus. *Applied Energy*, v.210, p.434 - 450, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.027>
- LOPES, A. V.; FREITAS, M. A. S. A alocação de água como instrumento de gestão de recursos hídricos: experiências brasileiras. *REGA - Revista de Gestão de Água da América Latina*, v.4,1, p. 5-28, 2007.
- LOSEKANN, L.; HALLACK, M. Novas energias renováveis no brasil: desafios e oportunidades. *Desafios da Nação: artigos de apoio*, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2018.
- LUBEGA, W.N.; FARID, A.M. A Meta-System Architecture for the Energy-Water Nexus. In: *8th International Conference on System of Systems Engineering*, 2013.
- MAAS, A.; DOZIER, A.; MANNING, D. T.; GOEMANS, C. Water storage in a changing environment: The impact of allocation institutions on value. *Water Resources Research*, [s.l.], v. 53, n. 1, p. 672-687, 2017.
- MABHAUDHI, T.; CHIBARABADA, T.; MODI, A. Water-Food-Nutrition-Health Nexus: Linking Water to Improving Food, Nutrition and Health in Sub-Saharan Africa. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v.13, 107, 2016. DOI:10.3390/ijerph13010107
- MACKNICK, J.; NEWMARK, R.; HEATH, G.; HALLETT, K. C. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: a review of existing literature. *Environ. Res. Lett.*, v. 7, 2012.
- MACKNICK, J.; NEWMARK, R.; HEATH, G.; HALLETT, KC. A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies. National Renewable Energy Laboratory, 2011.
- MACKNICK, J.; COHEN, S. Water Impacts of High Solar PV Electricity Penetration. National Renewable Energy Laboratory (NREL) Technical Report/ U.S. Department of Energy, 2015.
- MALIGREAU, J.-P., EVA, H.; MAGGIO, A. NPK: Will there be enough plant nutrients to feed a world of 9 billion in 2050. *Foresight and Horizon Scanning Series*. Joint Research Centre of the European Commission, European Union, 2012.
- MANNAN, M.; AL-ANSARI, T.; MACKKEY, H.R.; AL-GHAMDI, S.G. Quantifying the energy, water and food nexus: A review of the latest developments based on life-cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, v.193, p.300–314, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.050>
- MANTOVANI, E.C.; ZINATO, C.E.; SIMÃO, F.R. Manejo de irrigação e fertirrigação na cultura da goiabeira. Disponível em: <http://www.nutricaoedplantas.agr.br/site/ensino/pos/Palestras_William/Livrogoiaba_pdf/8_irrigacao.pdf>. Acesso em julho 2019.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. AGROBASE - Base Bibliográfica da Agricultura Brasileira. Disponível em:<<http://snida.agricultura.gov.br/AGB>>. Acesso em: jan. de 2019a.

_____. Plano safra 2019/2020. MAPA, Secretaria de Política agrícola, 2019b, 48p.

_____. Plano Agrícola e Pecuário 2018/2019. 2019c.

_____. Plano setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura: plano ABC/MAPA, Ministério do Desenvolvimento Agrário, Brasília: MAPA/ACS, 2012. 173 p.

_____. Zoneamento Agrícola. (2017). Disponível em:<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/riscos-seguro/risco-agropecuario/zoneamento-agricola>>. Acesso em maio 2019.

MARACAJÁ, K.F.B.; SILVA, V.de.P.R.da.; DANTAS NETO, J.; ARAÚJO, L.E.de. Pegada Hídrica como indicador de Sustentabilidade Ambiental. REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade, 2, nº 2, Edição Especial Rio +20, p.113-125, 2012.

MARCOLIN, E.; ROBAINA, A.D. Consumo de energia e eficiência das estações de bombeamento de lavouras de arroz irrigado. Cienc. Rural, 32, 2 Santa Maria, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782002000200008>

MARIANI, L.; GUARENCHI, M. M.; MITO, J. Y. L.; CAVALIERO, C. K. N.; GALVÃO, R. R. A. Análise de oportunidades e desafios para o Nexo Água-Energia. Desenvolv. Meio Ambiente, v. 37, p. 9-30, 2016. DOI: 10.5380/dma.v37i0.45046

MARTINEZ-HERNANDEZ, E.; LEACHB, M.; YANGC, A. Understanding water-energy-food and ecosystem interactions using the nexus simulation tool NexSym. Applied Energy, v.206, p.1009-1021, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.09.022>

MARTIN-HURTADO, R. DE STRASSER, L.; ALMULLA, A.; GARDUMI, F.; RAMOS, E.; SUNDIN, C.; HOWELLS, M.; STEC, S.; AVELLÁN, T. Assessment of the water-food-energyecosystems nexus and benefits of transboundary cooperation in the Drina River Basin. In: United Nations, 2017. Disponível em: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/publications/WAT_Nexus/ECE_MP.WAT_NONE_9/Drina-FINAL-EN-WEB_final-correct.pdf. Acesso em: jan 2019

MACKNICK, J.; NEWMARK, R.; HEATH, G.; HALLETT, K. Operational water consumption and withdrawal factors for electricity generating technologies: A review of existing literature. Environ. Res. Lett., 2012.

MARTIRANI, L.A.; PERES, I.K. Crise Hídrica Em São Paulo: Cobertura Jornalística, Percepção Pública E O Direito À Informação. Ambiente & Sociedade, vol. XIX, nº. 1, 2016.

MASANET, E.; CHANG, Y.; GOPAL, A.R.; LARSEN, P.; MORROW, W.R.; SATHRE, R.; SHEHABI, A.; ZHAI, P. Life-cycle assessment of electric power systems. Annu. Rev. Environ. Resour., 38, p.107–136, 2013.

MASSUQUETTI, A.; SOUZA, O. T. de; BEROLDT, L. A. Instrumentos de política agrícola e mudanças institucionais. 48º Congresso SOBER. Campo Grande, 2010.

MATTHEWS, N.; MCCARTNEY, M. Opportunities for Building Resilience and Lessons for Navigating Risks: Dams and the Water Energy Food Nexus. Environmental Progress & Sustainable Energy, v.37, 2017. <https://doi.org/10.1002/ep.12568>

- MAULBETSCH, J.S.; DIFILIPPO, M.N. Cost and value of water use at Combined-cycle power plants. California Energy Commission - Public Interest Energy Research Program, 2006.
- MAYOR, B.; LÓPEZ-GUNN, E.; VILLARROYA, F.I.; MONTERO, E. Application of a water-energy-food nexus framework for the Duero river basin in Spain. *Water International*, p.791-808, 2015. <http://dx.doi.org/10.1080/02508060.2015.1071512>
- MCGRANE, S.J.; ACUTO, M.; ARTIOLI, F.; CHEN, P-Y.; COMBER, R.; COTTEE, J.; FARR-WHARTON, G.; GREEN, N.; HELFGOTT, A.; LARCOM, S.; MCCANN, J.A.; O'REILLY, P.; SALMORAL, G.; SCOTT, M.; TODMAN, L.C.; GEVELT, T.V.; YAN, X. Scaling the nexus: Towards integrated frameworks for analysing water, energy and food. *The Geographical Journal*, 2018. <https://doi.org/10.1111/geoj.12256>
- MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology*, v.83, p. 37–46, 2002.
- MCMAHON, J.E.; PRICE, S.K. Water and energy interactions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 36, p.163–191, 2011.
- MCMAHON, J.E.; PRICE, S.K. Water and Energy Interactions. *Annu. Rev. Environ. Resour.* v.36, p. 163–91, 2011. DOI: 10.1146/annurev-environ-061110-103827.
- MCNALLY, A.; MCCARTNEY, S.; RUANE, A. C.; MLADENOVA, I. E.; WHITCRAFT, A. K.; BECKER-RESHEF, I.; BOLTEN, J. D.; PETERS-LIDARD, C. D.; ROSENZWEIG, C.; UZ, S. S. Hydrologic and Agricultural Earth Observations and Modeling for the Water-Food Nexus. *Front. Environ. Sci.*, 01, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00023>
- MEDEIROS, A. M. Bases metodológicas para a incorporação da variável ambiental no planejamento da expansão termelétrica no Brasil. Mestrado (Mestrado em Ciências em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- MEDEIROS, M.C.; PADILHA, W. Os ciclos de desenvolvimento do cooperativismo agropecuário e o crédito rural no Sudoeste do Paraná. *Geosul, Florianópolis*, v. 29, n. 58, p 185-204, 2014.
- MEISCH, C.; SCHIRPKE, U.; HUBER, L.; RÜDISSER, J.; TAPPEINER, U. Assessing Freshwater Provision and Consumption in the Alpine Space Applying the Ecosystem Service Concept. *Sustainability*, 11, 1131, 2019. DOI:10.3390/su11041131
- MEKONNEN, M. M.; GERBENS-LEENES, P. W.; HOEKSTRA, A. Y. The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 2015.
- MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. the water footprint of electricity from hydropower. *Hydrology and Earth System Sciences*, n. 51, 2011.
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems*, v.15, p. 401–415, 2012. DOI: 10.1007/s10021-011-9517-8.
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Value of water research report series, n. 48, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 2010.
- MEKONNEN, M.M.; HOEKSTRA, A.Y. Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment. *Ecological Indicators*, v. 46, p. 214–223, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.013>

- MELDRUM, J.; NETTLES-ANDERSON, S.; HEATH, G.; MACKNICK., J. Life cycle water use for electricity generation: a review and harmonization of literature estimates. *Environmental Research Letters*, v.8, 18p., 2013. DOI:10.1088/1748-9326/8/1/015031.
- MELE, C.; PELS, J.; POLESE, F. A Brief Review of Systems Theories and Their Managerial Applications. *Service Science* 2(1-2), p. 126-135, 2010. https://doi.org/10.1287/serv.2.1_2.126
- MELO, D.de; PEREIRA, J.O.; SOUZA, E.G.de; GABRIEL FILHO, A.; NÓBREGA, L.H.P.; PINHEIRO NETO, R. Balanço energético do sistema de produção de soja e milho em uma propriedade agrícola do Oeste do Paraná. *Acta Sci. Agron. Maringa*, v. 29, n. 2, p. 173-178, 2007.
- MENG, F.; LIU, G.; LIANG, S.; SU, M.; YANG, Z. Critical review of the energy-water-carbon nexus in cities. *Energy*, v.171, p.1017-1032, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.048>
- MERCURE, J-F.; PAIMC, M.A.; BOCQUILLON, P.; LINDNER, S.; SALAS, P.; MARTINELLI, P.; BERCHIN, I.I.; ANDRADE GUERRA, J.B.S.O DE.; DERANI, C.; ALBUQUERQUE JUNIOR, C.L. DE.; RIBEIRO, J.M.P.; KNOBLOCH, F.; POLLITT, H. .; EDWARDS, N.R.; HOLDEN, P.B.; FOLEY, A.; SCHAPHOFF, S.; FARACO, R.A.; VINUALES, J.E. System complexity and policy integration challenges: The Brazilian Energy- Water-Food Nexus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 105, p. 230-243, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.045>
- MOHER, D.; LIBERATI, A.; TETZLAFF, J.; ALTMAN, D.G. The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *PLoS Med*, 6(7), 2009. DOI:10.1371/journal.pmed1000097
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL - MI. Plano Estratégico De Desenvolvimento Sustentável Do Semi-Árido-PDSA. Secretaria De Políticas De Desenvolvimento Regional-Sdr Agência De Desenvolvimento Do Nordeste – Adene, Brasília, 2005, 137p.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto. Coletânea de publicações do PROBIOGÁS, Série Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto. Ministério das Cidades, 1º Edição, Brasília, 2015, 183 p.
- MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO REGIONAL - MDR. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Disponível em:< <http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em janeiro 2019.
- MIRALLES-WILHELM, F. Development and application of integrative modeling tools in support of food-energy-water nexus planning - a research agenda. *J Environ. Stud. Sci.*, 2016. DOI 10.1007/s13412-016-0361-1.
- MIRANDA, M.M.de. Fator de emissão de gases de efeito estufa da geração de energia elétrica no Brasil: implicações da aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo USP, São Carlos, 2012.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil. Secretaria de Recursos Hídricos, 2005.

MMA/ANA – Ministério de Meio Ambiente/Agência Nacional de Águas. Plano Nacional de Recursos Hídricos: Águas para o futuro: cenários para 2020. Volume 2 / Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília: MMA, 2006.

MMA/MI/ANA/MCid - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE /MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL/AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS/ MINISTÉRIO DAS CIDADES. INTERÁGUAS – Programa de Desenvolvimento do Setor Água. MMA/MI/ANA/MCid, Brasília, 2018.

MME/EPE - Ministério de Minas e Energia/ Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030/ Ministério de Minas e Energia; Empresa de Pesquisa Energética, Brasília: MME/EPE, 2007.

MOIOLI, E.; MANENTI, F.; RULLI, M.C. Assessment of Global Sustainability of Bioenergy Production in a Water-Food-Energy Perspective. *Chemical Engineering Transactions*, 50, 2016. DOI: 10.3303/CET1650058.

MOIOLI, E.; SALVATI, F.; CHIESAA, M.; SIECHAA, R.T.; MANENTI, F.; LAIOC, F.; RULLI, M.C. Analysis of the current world biofuel production under a water–food–energy nexus perspective. *Advances in Water Resources*, p.22 – 31, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.07.007>

MOMBLANCH, A.; PAPADIMITRIOU, L.; JAIN, S. K.; KULKARNI, A.; OJHA, C. S. P.; ADELOYE, A. J.; HOLMAN, I. P. Untangling the water-food-energy-environment nexus for global change adaptation in a complex Himalayan water resource system. *Science of The Total Environment*, v. 655, p. 35-47, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.045>

MOMBLANCH, A.; PAPADIMITRIOU, L.; JAIN, S.K.; KULKARNI, A.; OJHA, C.S.P.; ADELOYE, A.J.; HOLMAN, I.P. Untangling the water-food-energy-environment nexus for global change adaptation in a complex Himalayan water resource system. *Science of the Total Environment*, 655, 35–47, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.045>

MORAES, G.G.B.L; FERRAÇO, A.A.G.F. A Abordagem Científica-Instrumental do Nexus Water-Food-Energy como método para a construção de uma política ambiental integrada na gestão dos recursos hídricos. *Revista Videre, Dourados*, v.10, 19, p. 53-68, 2018.

MOREIRA, H.C. Biogás em estações de tratamento de esgotos: Os principais legados da cooperação técnica Brasil-Alemanha. PUC-Rio (Dissertação de mestrado), Rio de Janeiro, 2017.

MOUNTFORD, H. Water: The Environmental Outlook to 2050. In: OECD Global Forum on Environment: Making Water Reform Happen, Paris, 25-26, 2011.

MOURA, G.N.P.de. A relação entre água e energia: Gestão energética nos sistemas de abastecimento de água das Companhias de saneamento básico do Brasil. Dissertação (Mestrado em Ciências de Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE, Rio de Janeiro, 2010.

MUHAMMETOĞLU, A.; MUHAMMETOĞLU, H.; ADIGÜZEL, A.; İRİTAŞ, Ö.; KARAASLAN, Y. Management of Water Losses in Water Supply and Distribution Networks in Turkey. *Turkish Journal of Water Science & Management*, v. 2, 2018.

MUKHTAR, H.; IMRAN, M. Water-Nutrient-Food Nexus: The Role of Green Algae for Sustainable Food Production in Urban Wetlands Through Untreated Wastewater. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*, v.6, n.2, 2016.

MULLER, M. The 'Nexus' As a Step Back towards a More Coherent Water Resource Management Paradigm. *Water Alternatives*, v.8, p.675-694, 2015.

MDIC - MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. Comex Stat. Governo Federal. Disponível em:< <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/sobre>>. Acesso em: novembro de 2019.

NAKANO, J.; PUMPHREY, D.; PRICE Jr. R.; WALTON, M.A. Prospects for Shale Gas Development in Asia – Examining potentials and challenges in China and India. Center for Strategic International Studies – CSIS, 2012.

NAMANY, S.; AL-ANSARI, T.; GOVINDAN, R. Sustainable energy, water and food nexus systems: A focused review of decision-making tools for efficient resource management and governance. *Journal of Cleaner Production*, v.225, p.610-626, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.304>

NANDURI, V.; OTIENO, W. A New Water and Carbon Conscious Electricity Market Model for the Electricity-Water-Climate Change Nexus. *The Electricity Journal*, 2011. DOI:10.1016/j.tej.2011.09.021.

NAWAB, A.; LIU, G.; MENG, F.; HAO, Y.; ZHANG, Y.; HU, Y.; CASAZZA, M. Exploring urban energy-water nexus embodied in domestic and international trade: A case of Shanghai. *Journal of Cleaner Production*, v.223, p.522-535, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.119>

NERYS, J. W. L.; OLIVEIRA, A. M. de; MARRA, E. G.; OLIVEIRA, L. F. C. de; ALVES, A. J.; CENDES, F.; MEDEIROS, A. M. M.; NIELSON, R. Sistema de Irrigação Microcontrolado: Automação e Otimização do Consumo de Energia Elétrica e Água (2007). Disponível em:< <http://www2.aneel.gov.br/biblioteca/citenel2007/pdf/it92.pdf>>. Acesso em: julho 2019.

NEXUS - The Water, Energy & Food Security Resource Platform. Disponível em:< <https://www.water-energy-food.org/calendar/archive/2017/2/>>. Acesso em dezembro 2019.

NHAMO, L.; NDLELA, B.; NHEMACHENA, C.; MABHAUDHI, T.; MPANDELI, S.; MATCHAYA, G. The Water-Energy-Food Nexus: Climate Risks and Opportunities in Southern Africa. *Water*, 10, 567, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10050567>

NIE, Y.; AVRAAMIDOU, S.; XIAO, X.; PISTIKOPOULOS, E. N.; LI, J.; ZENGA, Y.; SONGA, F.; YUA, J.; ZHU, M. A Food-Energy-Water Nexus approach for land use optimization. *Science of The Total Environment*, v. 659, p. 7-19, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.242>

NOGUEIRA, D. M. Balanço Hídrico na Refinaria de Paulínia e Alternativas para Reuso de Água: Construção de uma Ferramenta Auxiliar para o Gerenciamento dos Recursos Hídricos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007.

NOVAK, J.D.; CAÑAS, A.J. The Theory Underlying Concept Maps and How to Construct and Use Them. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01 Rev 01-2008, Florida. In: Institute for Human and Machine, Cognition, 2008.

NRDC – Natural Resources Defense Council. Power Plant Cooling and Associated Impacts: The Need to Modernize U.S. Power Plants and Protect Our Water Resources and Aquatic Ecosystems. NRDC, 2014. Disponível em:< <https://www.nrdc.org/sites/default/files/power-plant-cooling-IB.pdf>> Acesso em: janeiro, 2017.

- NUNES, S. P. Instrumentos de política agrícola par a agricultura e a agricultura familiar no Brasil. Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais, n. 159, 2007.
- NUNES, S. P. O desenvolvimento da agricultura brasileira e mundial e a idéia de Desenvolvimento Rural. Departamento de Estudos Sócio-Econômicos Rurais, n. 157, 2007.
- OCIEPA, E.; MROWIEC, M.; DESKA, I. Analysis of Water Losses and Assessment of Initiatives Aimed at Their Reduction in Selected Water Supply Systems. *Water*, 11, 1037, 2019. DOI:10.3390/w11051037.
- OECD - OECD Principles on Water Governance. In: Ministers at the OECD Ministerial Council Meeting, 2015.
- OLSSON, G. Water, energy and food interactions - Challenges and opportunities. *Front. Environ. Sci. Eng.* v. 7, n. 5, p. 787–793, 2013.
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. Resultados da Operação – Histórico da Operação. Disponível em:<<http://ons.org.br/paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao>>. Acesso em: jan. de 2019a.
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico. SINDAT: Sistema de Informações Geográficas cadastrais do SIN. Disponível em:<<http://sindat.ons.org.br/SINDAT/Home/ControleSistema>>. Acesso em: janeiro de 2019b.
- OZTURK, I. Sustainability in the food-energy-water nexus: Evidence from BRICS (Brazil, the Russian Federation, India, China, and South Africa) countries. *Energy*, 93, 999-1010, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.09.104>
- OZTURK, I. The dynamic relationship between agricultural sustainability and foodenergy-water poverty in a panel of selected Sub-Saharan African Countries. *Energy Policy*, v.107, p.289-299, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.048>
- PAN, S-Y.; SNYDER, S.W.; PACKMAN, A.I.; LIN, Y.J.; CHIANG, P-C. Cooling water use in thermoelectric power generation and its associated challenges for addressing water-energy nexus. *Water-Energy Nexus*, v.1,n.1, p.26-41, 2018.
- PACETTI, T.; LOMBARDI, L.; FEDERICI, G. Watereenergy Nexus: a case of biogas production from energy crops evaluated by Water Footprint and Life Cycle Assessment (LCA) methods. *Journal of Cleaner Production*, v.101, p.278–291, 2015.
- PAHL-WOSTL, C. Governance of the water-energy-food security nexus: A multi-level coordination challenge. *Environmental Science & Policy*, v.92, p. 356-367, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.017>
- PANG, M.; ZHANG, L.; ULGIATI, S.; WANG, C. Ecological impacts of small hydropower in China: Insights from an emergy analysis of a case plant. *Energy Policy*, 2014.
- PANDEY, V. P.; SHRESTHA, S. Evolution of the nexus as a policy and development discourse. In: *Water-Energy-Food Nexus: Principles and Practices*, eds P. Abdul Salam, S. Shrestha, V. Prasad Pandey, and A. K. Anal (Washington, DC: JohnWiley and Sons, Inc), 11–20, 2017.
- PARDOE, J.; CONWAY, D.; NAMAGANDA, E.; VINCENT, K.; DOUGILL, A.J.; KASHAIGILI, J.J. Climate change and the water-energy-food nexus: insights from policy and practice in Tanzania. *Journal Climate Policy*, v. 18, n.7, 2017. <https://doi.org/10.1080/14693062.2017.1386082>

- PARKINSON, S.C.; MAKOWSKI, M.; KREY, V.; SEDRAOUI, K.; ALMASOUD, A.H. DJILALI, N. A multi-criteria model analysis framework for assessing integrated water-energy system transformation pathways. *Applied Energy*, v.210, p.477-486, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.142>
- PARRAVICINI, V.; SVARDAL, K.; KRAMPE, J. Greenhouse Gas Emissions from Wastewater Treatment Plants. *Energy Procedia*, v. 97, p. 246-253, 2016.
- PASQUAL, J.C.; BOLLMANN, H.A.; SCOTT, C.A. EDWIGES, T.; BAPTISTA, T.C. Assessment of Collective Production of Biomethane from Livestock Waste for Urban Transportation Mobility in Brazil and the United States. *Energies* v.11, 997, 2018. DOI:10.3390/en11040997
- PAUDEL, K. P.; PANDIT, M.; HINSON, R. Irrigation water sources and irrigation application methods used by U.S. plant nursery producers, *Water Resour. Res.*, v. 52, p. 698–712, 2016. DOI:10.1002/2015WR017619.
- PECK, J.J.; SMITH, A.D. Quantification and regional comparison of water use for power generation: A California ISO case study. *Energy Reports*, v.3, p. 22–28, 2017.
- PEIXOTO, M. Extensão rural no Brasil – uma abordagem histórica da legislação. Consultoria Legislativa do Senado Federal, Brasília, 2008.
- PELLICCIA, L.; KLIMANT, P.; SCHUMANN, M.; PÜRZEL, F.; WITTSTOCK, V.; PUTZ, M. Energy visualization techniques for machine tools in virtual reality. *Procedia CIRP*, v.41 p.329 – 333, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.10.013>
- PEREIRA, S. B.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; RAMOS, M. M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.13, n.3, p.346–352, 2009.
- PESSOA, M. D. Províncias hidrogeológicas adotadas para o mapa hidrogeológico do Brasil na escala 1:2.500.000. *Anais do 1º Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, Recife, Pernambuco, 1980.
- PHELAN, S.E. What Is Complexity Science, Really? *Emergence* 3(1):120-136 · April 2001. DOI: 10.1207/S15327000EM0301_08
- PETROBRÁS. Sustentabilidade 2018. Disponível em:< file:///C:/Users/cassia/Downloads/Relatorio_RS_2018_digital.pdf.> Acesso em dezembro 2019.
- PINTOR, E.de; SILVA, G.M.da; PIACENTI, C.A. Crédito rural e crescimento econômico no Brasil. *Revista de política agrícola*, Ano XXIV, 1, 2015.
- POFF, N. L.; ALLAN, J. D.; BAIN, M.; KARR, J.; PRESTEGAARD, K.; RICHTER, B.; SPARKS, R.; STROMBERG, J. The natural flow regime. *Bioscience*, v. 47, n. 11, p. 769-784, 1997.
- POMBO, F. R. Gestão da demanda de água na indústria de refino de petróleo: desafios e oportunidades de racionalização. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- POMBO, F.; MAGRINI, A.; SZKLO, A. Technology Roadmap for Wastewater Reuse in Petroleum Refineries in Brazil. *Environmental Management in Practice*, 2011.
- PONTES, N. R.; PADULA, A. D. Avaliação dos impactos e transformações do programa MODERFROTA na indústria de máquinas agrícolas. XLIII congresso da SOBER:

“Instituições, Eficiência, Gestão e Contratos no Sistema Agroindustrial”. Ribeirão Preto, 2005.

PORTNEY, K.E.; HANNIBAL, B.; GOLDSMITH, C.; MCGEE, P.; LIU, X.; VEDLITZ, A. Awareness of the Food–Energy–Water Nexus and Public Policy Support in the United States: Public Attitudes Among the American People. *Environment and Behavior*, v.50, 4, p.375–400, 2018. DOI: 10.1177/0013916517706531

PORTNEY, K.E.; VEDLITZ, A.; SANSOM, G.; BERKE, P.; DAHER, B.T. Governance of the Water-Energy-Food Nexus: the Conceptual and Methodological Foundations for the San Antonio Region Case Study. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, v.4, 3, p. 160–167, 2017.

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção/Francisco Suetônio Bastos Mota e Marcos von Sperling (coordenadores). Rio de Janeiro: ABES, 2009

PUEPPKE, S. G.; NURTAZIN, S.T.; GRAHAM, N.A.; QI, J. Central Asia’s Ili River Ecosystem as a Wicked Problem: Unraveling Complex Interrelationships at the Interface of Water, Energy, and Food. *Water*, 10, 541, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10050541>

PUFFER, M.; BERG, O.K.; EINUM, S.; SALTVEIT, S.J.; FORSETH, T. Energetic Consequences of Stranding of Juvenile Atlantic Salmon (*Salmosalar L.*). *Journal of Water Resource and Protection*, v.9, p.163-182, 2017.

QIN, Y.; CURMI, E.; KOPEC, G. M.; ALLWOOD, J. M. RICHARDS, K. S. China’s energy-water nexus – assessment of the energy sector’s compliance with the “3 RedLines” industrial water policy. *Energy Policy*, 82, 131–143, 2015.

QUIROZ-ARITA, C.; SHEEHAN, J. J.; BARAL, N. R.; HUGHES, A.; PEERS, G.; HODGSON, B.; SHARVELLE, S.; BRADLEY, T. H. A Cyanobacterial Sidestream Nutrient Removal Process and Its Life Cycle Implications. *BioEnergy Research*, v.12, p.217–228, 2019. DOI:<https://doi.org/10.1007/s12155-019-9963-2>

RACOVICIANU, A.I.; KARNEY, B.W.; KENNEDY, C.E.J.; COLOMBO, A.F. Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment Systems. *Journal of Infrastructure Systems*, v. 13, n.4, p.261-270, 2007. DOI: 10.1061/(ASCE)1076-0342(2007)13:4(261)

RAMASWAMI, A.; BOYER, D.; NAGPURE, A.S.; FANG, A.; BOGRA, S.; BAKSHI, B.; COHEN, E.; RAO-GHORPADE, A. An urban systems framework to assess the trans-boundary food-energy-water nexus: implementation in Delhi, India. *Environ. Res. Lett.*, 12, 2017. DOI:<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5556>

RAMBO, J. R.; DINIZ, R.F.; HESPANHOL, A.; SANT’ANA, A.L. Políticas Públicas de Extensão Rural no Brasil Contemporâneo: Avanços e Desafios à Construção do Desenvolvimento Rural Sustentável nos Estados de Minas Gerais e Mato Grosso. In: Congresso Brasileiro da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 53., 2015, João Pessoa. Anais. João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba – Ufpb, 2015. p. 1 - 15. Disponível em: . Acesso em: mar. 2017.

RAMINA, R.H. Concepção de uma estratégia robusta para a gestão dos usos múltiplos das águas na bacia hidrográfica do rio São Francisco. Comitê da Bacia Hidrográfica do rio São Francisco/ Agência Peixe Vivo, 2014.

- RAPTIS, C.E.; VLIET, M.T.H.V.; PFISTER, S. Global thermal pollution of rivers from thermoelectric power plants. *Environmental Research Letters*, v.11, 2016. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/104011>
- RASUL, G. Food, water, and energy security in South Asia: A nexus perspective from the Hindu Kush Himalayan region. *Environmental Science & Policy*, v. 39, p. 35 – 48, 2014.
- RASUL, G.; SHARMA, B. The nexus approach to water–energy–food security: an option for adaptation to climate change. *Climate Policy*, v. 16, n. 6, p. 682–702, 2016. DOI: 10.1080/14693062.2015.1029865.
- RAWAT, P.; DHIRAN, T.S. Comparative Analysis of Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Water and Solar Photovoltaic Thermal (PVT) Air Systems. *International Journal of Civil, Mechanical and Energy Science (IJCMES)*, v.3, 1, 2017.
- RENOFALT, B.M.; JANSSON, R.; NILSSON, C. Effects of hydropower generation and opportunities for environmental flow management in Swedish riverine ecosystems. *Freshwater Biology*, 55, p. 49–67, 2010. DOI:10.1111/j.1365-2427.2009.02241.x_2009.
- RINGLER, C.; BHADURI, A.; LAWFORD, R. The nexus across water, energy, land and food (WELF): potential for improved resource use efficiency? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v. 5, p. 617–624, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.002>
- RIST, L.; CAMPBELL, B.M.; FROST, P. Adaptive management: Where are we now? *Environmental Conservation*, v. 40, n.1, p.5-18, 2012. DOI: 10.1017/S0376892912000240
- ROA-GARCÍA, M.C. Equity, efficiency and sustainability in water allocation in the Andes: Trade-offs in a full world. *Water Alternatives*, v. 7, n.2, p. 298-319, 2014.
- ROCHA, C.T.D.da; CHRISTOFIDIS, D. No Brasil existem dez hectares cultivados de forma tradicional para cada hectare cultivado com irrigação. *Revista de Política Agrícola*, Ano XXIII – nº 3, 2014.
- ROCHA, G.O. da; ANJOS, J.P. dos; ANDRADE, J.B. de. Energy trends and the water-energy binomium for Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v.87, n.2, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201520140560>
- RODRÍGUEZ-DE-FRANCISCO, J.C.; DUARTE-ABADÍA, B.; BOELEN, R. Payment for Ecosystem Services and the Water-Energy-Food Nexus: Securing Resource Flows for the Affluent? *Water*, 11, 1143, 2019. DOI:10.3390/w11061143
- ROGERS, P. *The Triangle: Energy, Water & Food Nexus for Sustainable Security in the Arab Middle East*. Springer International Publishing, 2017. DOI 10.1007/978-3-319-48920-9_2.
- ROIDT, M.; AVELLÁN, T. Learning from integrated management approaches to implement the Nexus. *Journal of Environmental Management*, v. 237, p. 609-616, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.02.106>
- ROSA, L.; D'ODORICO, P. The water-energy-food nexus of unconventional oil and gas extraction in the Vaca Muerta Play, Argentina. *Journal of Cleaner Production*, v. 207, p. 743-750, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.039>
- ROY, B. *Multicriteria methodology for decision aiding*. Netherland: Kluwer academic publishers, 1996.
- RUEDIGER, M. A. (Coord.). *Análise da efetividade do Água Para Todos: avaliação de mérito quanto à eficácia, à eficiência e à sustentabilidade*. Rio de Janeiro: FGV DAPP 2018.

RULLI, M.C.; BELLOMI, D.; CAZZOLI, A.; CAROLIS, G.de.; D'ODORICO, P. The water-land-food nexus of first-generation biofuels. *Scientific Reports*, v.6, p.22521, 2016. DOI: 10.1038/srep22521.

SÁ, J.M.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, C.P.; SOARES, L.H.de.B.; ALVES, B.J.R.; BODDEY, R. M.; MARCHÃO, R.L.; VILELA, L. Balanço energético da produção de grãos, carne e biocombustíveis em sistemas especializados e mistos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.48, 10, 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000003>

SAATY, T.L. Decision-making with the AHP: Why is the principal eigenvector necessary. *European Journal of Operational Research*. In: Elsevier Science, v.145, p.85–91, 2003.

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Projeto de Eficiência Energética nas instalações das Estações de Tratamento de Esgoto ABC e Parque Novo Mundo. *Ambiental Expo*, 2009.

SAHLE, M.; SAITO, O.; FÜRST, C.; YESHITELA, K. Quantifying and mapping of water-related ecosystem services for enhancing the security of the food-water-energy nexus in tropical data-sparse catchment. *Science of The Total Environment*, v. 646, p. 573-586, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.347>

SALADINI, F.; BETTI, G.; FERRAGINA, E.; BOURAOUI, F.; CUPERTINO, S.; CANITANO, G.; GIGLIOTTI, M.; AUTINO, A.; PULSELLI, F.M.; RICCABONI, A.; BIDOGLIO, G.; BASTIANONI, S. Linking the water-energy-food nexus and sustainable development: indicators for the Mediterranean region. *Ecological Indicators*, v.91, p.689-697, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.035>

SALMORAL, G.; YAN, X. Food-energy-water nexus: A life cycle analysis on virtual water and embodied energy in food consumption in the Tamar catchment, UK. *Resources, Conservation and Recycling*, v.133, p.320-330, 2018.

SAMBUICHI, R.H.R.; OLIVEIRA, M.A.C.de.; SILVA, A.P.M.da.; LUEDEMANN, G. A sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: Impactos, políticas públicas e desafios. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada/IPEA, 2012.

SANDERS, K. T.; MASRI, S. F. The Energy-Water-Agriculture Nexus: The Past, Present and Future of Holistic Resource Management. *Journal of Cleaner Production*, v.117, p.73-88, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.034>

SANTAFÉ, M.R.; SOLER, J.B.T.; ROMERO, F.J.S.; GISBERT, P.S.F.; GOZÁLVE, J.J.F.; GISBERT, C.M.F. Theoretical and experimental analysis of a floating photovoltaic cover for water irrigation reservoirs. *Energy*, v.67, p.1246-255,2014. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.01.083>

SANTANA, C.H.V. Políticas de infraestrutura Energética e capacidades Estatais nos BRICS. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, Brasília: Rio de Janeiro, 2015.

SANTANA, C.H.V. Políticas de infraestrutura energética e capacidades estatais nos BRICS. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA, 2015.

SANTIAGO, A.D.; CHICO, D.; ANDRADE JUNIOR, A.S. de; GARRIDO, A.; CARNAÚBA, P.J.P. Pegada hídrica da cana-de-açúcar e etanol produzidos no estado de Alagoas, Brasil. *Revista da sociedade brasileira de agrometeorologia*, v.25, n.1, p.209-216, 2017.

SARAVIA, E.; FERRAREZI, E. Políticas públicas. Escola Nacional de Administração Pública/ ENAP,1, 2006, 152p.

- SARKODIE, S. A.; STREZOV, V.; WELDEKIDAN, H.; ASAMOAH, E. F.; OWUSU, P. A.; DOYI, I. N. Y. Environmental sustainability assessment using dynamic Autoregressive-Distributed Lag simulations—Nexus between greenhouse gas emissions, biomass energy, food and economic growth. *Science of the Total Environment*, v.668, p.318–332, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.432>.
- SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. Políticas Públicas: conceitos e práticas elo Horizonte: Sebrae/MG, 2008, 48 p.
- SILVA, P.R.F.da; FREITAS, T.F.S.de. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.38, n.3, p.843-851, 2008.
- SILVA, D.C.da. Análise Termoeconômica Comparativa de Ciclos Avançados de Usinas Termoelétricas a Carvão Mineral e Usinas Termonucleares. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica), Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.
- SINGH, S.; KUMAR, A. Development of water requirement factors for biomass conversion pathway. *Bioresour Technol*, 102, p.1316–1328, 2011.
- SCHLESINGER, S. Biocombustíveis: energia não mata a fome. *ActionAid*, 2014, 44p.
- SCHMIDT, J.J.; MATTHEWS, N. From state to system: Financialization and the water-energy-food-climate Nexus. *Geoforum*, v.91, p.151-159, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.03.001>
- SCHMIDT, M. The Sankey Diagram in Energy and Material Flow Management: Part I: History. *Journal of Industrial Ecology*, 2008. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2008.00004.x
- SCHNEIDER, P.; FOLKENS, L.; MEYER, A.; FAUK, T. Sustainability and Dimensions of a Nexus Approach in a Sharing Economy. *Sustainability*, v.11, 909, 2019. <https://doi.org/10.3390/su11030909>
- SCHOR, A. R. Risco e alternativas para o abastecimento de água em uma refinaria de petróleo. Estudo de caso: Refinaria Duque de Caxias – REDUC. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- SCOTT, C.A.; PIERCE, S.A.; PASQUALETTI, M.J.; JONES, A.L.; MONTZ, B.E.; HOOVER, J.H. Policy and institutional dimensions of the water–energy nexus. *Energy Policy*, v.39, 10, p.6622-6630, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.08.013>
- Secretaria do Meio Ambiente - Governo da Bahia. Programa Água Doce entrega 47 novos sistemas de dessalinização no estado. Governo da Bahia, 2019. Disponível em:< <http://www.meioambiente.ba.gov.br/modules/noticias/makepdf.php?storyid=11646>>. Acesso em: novembro de 2019.
- SEI - Stockholm Environment Institute. Training Exercises for Integrated Water-Energy Planning: Linking WEAP and LEAP. U.S. Center, 2012.
- SEMERTZIDIS, T.; SPATARU, C.; BLEISCHWITZ, R. The Nexus: Estimation of Water Consumption for Hydropower in Brazil. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, v.7, n.1, p. 122-138, 2018.
- SERPRO. Plataforma CBIO - Uma solução integrada com a ANP e a Receita Federal para validação das Notas Fiscais Eletrônicas e emissão de CBIOs. Disponível em:< <https://www.serpro.gov.br/menu/nosso-portfolio/por-linha-de-negocio-1/servicos-sob-medida/cbio>>. Acesso em julho 2019.

- SHANG, Y.; HEI, P.; LU, S.; SHANG, L.; LI, X.; WEI, Y.; JIA, D.; JIANG, D.; YE, Y.; GONG, J.; LEI, X.; HAO, M.; QIU, Y.; LIU, J.; WANG, H. China's energy-water nexus: Assessing water conservation synergies of the total coal consumption cap strategy until 2050. *Applied Energy*, v.210, p. 643-660, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.11.008>
- SHANNAK, S.; MABREY, D.; VITTORIO, M. Moving from theory to practice in the water–energy–food nexus: An evaluation of existing models and frameworks. *Water-Energy Nexus*, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wen.2018.04.001>.
- SHAYESTEHA, A. A.; KOOHSHEKANA, O.; GHASEMIA, A.; NEMATIB, M.; MOKHTARIC, H. Determination of the ORC-RO system optimum parameters based on 4E analysis; Water–Energy–Environment nexus. *Energy Conversion and Management*, v. 183, p. 772-790, 2019.
- SCHOR, A.R. Riscos e alternativas para o abastecimento de água em uma refinaria de petróleo - Estudo de caso: refinaria Duque de Caxias – REDUC. Dissertação (Mestrado em ciências em Engenharia civil), Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- SIDDIQI, A.; ANADON, L. D. The water–energy nexus in Middle East and North Africa. *Energy Policy*, 39, 4529-4540, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.04.023>
- SILALERTRUKSA, T.; GHEEWALA, S.H. Land-water-energy nexus of sugarcane production in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, v.182, p.521–528, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.085>
- SILVA, C.L. da.; BASSI, N.S.S.; ROCHA JUNIOR, W.F. da. Technologies for rational water use in Brazilian agriculture. *Revista Ambiente & Água*, v.11, 2, 2016. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1808>
- SILVA, R. P.; BARICELO, L. G.; VIAN, C. E. de F. Estoque brasileiro de tratores agrícolas: evolução e estimativas de 1960 a 2016. *Rev. de Economia Agrícola*, v. 62, n. 2, p. 21-35, 2015.
- SILVA, S. R. Gestão da demanda de água para uso na agricultura em região semiárida: estudo de caso Bacia do rio Salitre - BA. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- SILVA, V.DE.P.da.S; OLIVEIRA, S.D.de; HOEKSTRA, A.Y.; DANTAS NETO, J.; CAMPOS, J.H.B.C.; BRAGA, C.C.; ARAÚJO, L.E.de; ALEIXO, D.de.O.; BRITO, J.I.B.de; SOUZA, M.D.de; HOLANDA, R.M.de. Water Footprint and Virtual Water Trade of Brazil. *Water*, 2016, 8, 517. DOI:10.3390/w8110517.
- SIMPSON, G. B.; JEWITT, G. P. W. The Development of the Water-Energy-Food Nexus as a Framework for Achieving Resource Security: A Review. *Front. Environ. Sci.*, 08, 2019. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00008>
- SINGH, Y.; RAO, S.S.; REGAR, P.L. Deficit irrigation and nitrogen effects on seed cotton yield, water productivity and yield response factor in shallow soils of semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, v. 97, p. 965–970, 2010.
- SISPPI - Sistema de Informações sobre os Projetos Públicos de Irrigação. Disponível em: <<http://sisppi.mi.gov.br/SISPPI/loginExterno.seam?cid=85>>. Acesso em novembro 2019.
- SMAJGL, A.; WARD, J.; PLUSCHKE, L. The water–food–energy Nexus – Realising a new paradigm. *Journal of Hydrology*, v. 533, p. 533–540, 2016. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.12.033.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017. Brasília: SNS/MDR, 2019a, 226 p.

_____. 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019b. 180 p.

SNYDER, B.; KAISER, M.J. Ecological and economic cost-benefit analysis of offshore wind energy. *Renewable Energy*, v. 34, p. 1567–1578, 2009.

SOARES, R.B.; GONÇALVES, R.F. Consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no Brasil. In: Congresso ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.

SOLERA, A.S.; ARQUIOLA, J.P.; ÁLVAREZ, J.A. AQUATOOL + - Manual de usuário. In: Universidad Politécnica De Valencia, 2015. Disponível em: <https://aquatool.webs.upv.es/files/manuales/aquatool/ManualAquaToolPlus.pdf>. Acesso em: fev. 2019.

SORANSO, A.M.; GABRIEL FILHO, A.; LOPES, A.; SOUZA, E.G.de; DABDOUB, M.J.; FURLANI, C.E.A.; CAMARA, F.T.da. Desempenho dinâmico de um trator agrícola utilizando biodiesel destilado de óleo residual. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.5, p.553–559, 2008.

SORIANO, E.; LONDE, L.de.R.; GREGORIO, L.T.D.; COUTINHO, M.P.; SANTOS, L.B.L. Crise hídrica em São Paulo sob o ponto de vista dos desastres. *mbient. Soc.*, v.19, n.1, p.21-42, 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc150120r1v1912016>.

SOUZA, C.F. Vazões ambientais em hidrelétricas. Tese (Doutorado em Recursos hídricos e saneamento ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul/UFRGS, Porto Alegre, 2009.

SOUZA, L. M. M. de. Modelagem da disponibilidade hídrica em refinarias de petróleo brasileiras: O caso da REPLAN. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SOUZA, V.H.A.de; SANTOS, L.T.dos; CAMPOS, A.F.; CAROLINO, J. Análise Do Programa Nacional De Produção E Uso Do Biodiesel (Pnpb): Resultados E Críticas Analysis Of The National Program For Production And Use Of Biodiesel (PNPB): Results And Reviews. *Revista de Administração Geral*, v.1, n.1, p.23 - 41, 2015.

SRDJEVIC, B; MEDEIROS, Y; SRDJEVIC, Z; and SCHAER, M. Evaluating Management Strategies in Paraguacu River Basin by Analytic Hierarchy Process. In: Proceedings of the IEMSS - First Biennial Meeting of the International Environmental Modeling and Software Society, 1, p. 42-47, Lugano, 2002.

STEDMAN, S.; MNYIMBIRI, A.M.; KAWONGA, Z.; MALOTA, M.; NJERA, D.; HALL, R.P.; HOLM, R.R. Using Irrigation To Kick-Start Multiple-Use Water Services For Small-Scale Farmers In Malawi: A Case Study Of The Nkhata Bay District. *Irrigation And Drainage*, v.67, p.645–653, 2018. <https://doi.org/10.1002/ird.2282>

STEIN, C.; PAHL-WOSTL, C.; BARRON, J. Towards a relational understanding of the water-energy-food nexus: an analysis of embeddedness and governance in the Upper Blue Nile region of Ethiopia. *Environmental Science & Policy*, v.90, p.173-182, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.01.018>

STEPHAN, R.M.; MOHTAR, R.H.; DAHER, B.; IRUJO, A.E.; HILLERS, A.; GANTER, J.C.; KARLBERG, L.; MARTIN, L.; NAIRIZ, S.; RODRIGUEZ, D.J.; SARNI, W. Water–

energy–food nexus: a platform for implementing the Sustainable Development Goals. *Journal Water International*, v. 43, n. 3, 2018.

STERMAN, J. 1994. Learning in and about complex systems. Working Paper n.04.027. Cambridge: MIT. <https://doi.org/10.1002/sdr.4260100214>

STERMAN, J. 2000. *Business Dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world*. Boston: McGraw Hill.

STURGES, H.A. The Choice of a Class Interval. *Journal of the American Statistical Association*, v.21, 153, p. 65-66, 1926.

SUCRE. Projeto SUCRE (Sugarcane Renewable Electricity). Disponível em:<<https://pages.cnpem.br/sucre/>>. Acesso em: novembro 2019.

SUN, L.; PAN, B.; GU, A.; LU, H.; WANG, W. Energy–water nexus analysis in the Beijing–Tianjin–Hebei region: Case of electricity sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.93, p.27-34, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.111>

SUŠNIK, J. Data-driven quantification of the global water-energy-food system. *Resources, Conservation and Recycling*, v.133, p.179-190, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.023>

SUŠNIK, J.; CHEW, C.; DOMINGO, X.; MEREU, S.; TRABUCCO, A.; EVANS, B.; VAMVAKERIDOU-LYROUDIA, L.; SAVIC, D.A.; LASPIDOU, C.; BROUWER, F. Multi-Stakeholder Development of a Serious Game to Explore the Water-Energy-Food-Land-Climate Nexus: The SIM4NEXUS Approach. *Water*, v.10, 139, 2018. <https://doi.org/10.3390/w10020139>

TANIGUCHI, M.; MASUHARA, N.; BURNETT, K. Water, energy, and food security in the Asia Pacific region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2015.

TERRAPON-PFAFF, J.; FINK, T.; LECHTENBÖHMER, S. The Water-Energy Nexus in Iran Water-Related Challenges for the Power Sector, 2018. Disponível em:<<http://library.fes.de/pdf-files/iez/15108.pdf>>. Acesso em: junho 2019.

TESTEZLAF, R.. “Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações”. Campinas, SP.: Unicamp/FEAGRI, 2017.

TIAN, H.; LU, C.; PAN, S.; YANG, J.; MIAO, R.; REN, W.; YU, Q.; FU, B.; JIN, F-F.; LU, Y.; MELILLO, J.; OUYANG, Z.; PALM, C.; REILLY, J. Optimizing resource use efficiencies in the food–energy–water nexus for sustainable agriculture: from conceptual model to decision support system. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, v.33, p.104 – 113, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.04.003>

TIAN, L. Stimulating shale gas development in China and environment regulatory policy recommendations. Energy Research Institute National Development and Reform Commission, ERI, NDRC, 2015.

TJANDRAATMADJA, G.; POLLARD, C.; SHEEDY, C.; GOZUKARA, Y. Sources of contaminants in domestic wastewater: nutrients and additional elements from household products. *Water for a Healthy Country Flagship*, 2010.

TOLMASQUIM, M. T. *Energia Termelétrica: Gás Natural, Biomassa, Carvão, Nuclear*. EPE: Rio de Janeiro, 2016.

TORCELLINI, P.; LONG, N.; JUDKOFF, R. Consumptive Water Use for U.S. Power Production. National Renewable Energy Laboratory, 2003.

TSOUTSOS, T.; FRANTZESKAKI, N.; GEKAS, V. Environmental impacts from the solar energy Technologies. *Energy Policy*, v. 33, n. 3, p. 289–296, 2005.

TUCCI, C.E.M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O.de.M. A gestão da água no Brasil: Uma primeira avaliação da situação atual e das Perspectivas para 2025. UNESCO, Brasília, 2000, 192 p.

TURNEY, D.; FTHENAKIS, V. Environmental impacts from the installation and operation of large-scale solar power plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, p. 3261–3270, 2011.

TURNPENNY, A.W.H.; COUGHLAN, J.; Ng, B.; CREWS, P.; BAMBER, R.N.; ROWLES, P. Cooling Water Options for the New Generation of Nuclear Power Stations in the UK. Environment Agency, 2010.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY. U.S. Energy Sector Vulnerabilities to Climate Change and Extreme Weather. 2013.

_____. Concentrating Solar Power Commercial Application Study: Reducing Water Consumption of Concentrating Solar Power Electricity Generation. U.S. Department of Energy, 2001. Disponível em: <https://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/csp_water_study.pdf>. Acesso em janeiro 2020.

UEN, T-S.; CHANG, F-J.; ZHOUA, Y.; TSAI, W-P. Exploring synergistic benefits of Water-Food-Energy Nexus through multi-objective reservoir optimization schemes. *Science of the Total Environment*, v.633, p.341–351, 2018.

ULIAN, D.; BAYER, C. Fontes de emissão de N₂O do solo em um sistema integrado de produção com ovinos no sul do Brasil. In: XXIX Salão de iniciação científica da UFRGS, 2017.

UNICA – União das Indústrias de cana-de-açúcar. UNICADATA. Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/>>. Acesso em: Jan. 2019.

UNITED NATIONS. Development and International Economic Co-Operation: Environment. Report of the world Commission on environment and development, forty-second session, n. 83, 374p, 1987.

_____. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015.

_____. UN Comtrade Database. Disponível em: <<https://comtrade.un.org/>>. Acesso em janeiro de 2020.

_____. World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance. In: Department of Economic and Social Affairs, Population Division, 2017. Disponível em: https://esa.un.org/unpd/wpp/publications/files/wpp2017_keyfindings.pdf. Acesso em: jan. 2019.

URBANIEC, K.; MIKULČIĆ, H.; ROSEN, M.A.; DUIĆ, N. A Holistic Approach to Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 155, p. 1-11, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.119>

USDOE - United States Department of Energy. Energy Demands on Water Resources. Report to congress on the interdependency of energy and water, USDOE, 2006.

_____. The Water-Energy Nexus: Challenges and Opportunities. USDOE, 2014.

_____. U.S. energy sector vulnerabilities to climate change and extreme weather. USDOE, 2013.

VALDEZ, M.C.; ADLER, I.; BARRETT, M.; OCHOA, R.; PÉREZ, A. The Water-Energy-Carbon Nexus: Optimising Rainwater Harvesting in Mexico City. *Environ. Process*, v.3 p.307–323, 2016. DOI 10.1007/s40710-016-0138-2.

VALENTE, V.B. Análise de viabilidade econômica e escala mínima de uso do biogás de reatores anaeróbios em estações de tratamento de esgoto no Brasil. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

VANELLI, C. A. Conservação de água em refinaria de petróleo: O caso da REVAP. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2004.

VANHAM, D. Does the water footprint concept provide relevant information to address the water–food–energy–ecosystem nexus? *Ecosystem Services*, v.17, p.298-307, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2015.08.003>

VANHAM, D. Water footprint components required to address the water-energy-food nexus, with the recent Urban Water Atlas for Europe as an example. *Geophysical Research Abstracts*, v.19, 2017.

VARGAS, M.B.; LEE, T.L. El Nexo entre el agua, la energía y la alimentación en Costa Rica - El caso de la cuenca alta del río Reventazón. In: Comisión Económica para América Latina y el Caribe/CEPAL, 2017. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42507/2/S1701032_es.pdf. Acesso em 5 jan 2019.

VASCONCELOS, M. B. O que são poços? Um panorama das terminologias utilizadas para captações de águas subterrâneas. *Águas Subterrâneas*, v. 31, p. 44-57, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v31i2.28666>

VEIGA, J.P.S.; ROMANELLI, T.L.; GIMENEZ, L.M.; BUSATO, P.; MILAN, M. Energy embodiment in Brazilian agriculture: an overview of 23 crops. *Scientia Agricola*, v.72, n.6, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0188>

VENGHAUS, S.; HAKE, J.-F. Nexus thinking in current EU policies – The interdependencies among food, energy and water resources. *Environmental Science & Policy*, v.90, p.183-192, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.12.014>

VERGÉ, X.; VANDERZAAGA, A.; SMITHA, W.; GRANTA, B.; GORDON, R. The consideration of time step in calculating grey water footprints of agricultural cropping systems. *Ecological Indicators*, v. 78, p. 31–36, 2017.

VIANA, M.A.; LIRA, E.B.de.S.; COELHO, C.de.P.G.; BEZERRA, A.P.X.de.G. LORENA, E.M.G.; HOLANDA, R.M.de. Pegada hídrica em indústria de beneficiamento de jeans no Agreste Pernambucano. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 03 n. 01, p. 061-068, 2018.

VIDAL, M.de. F. Produção e uso de biocombustíveis no Brasil. Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste – ETENE, n.79, 2019.

VIEIRA FILHO, J. E. R. Expansão da fronteira agrícola no Brasil: desafios e perspectivas. IPEA, 2016.

VIEIRA FILHO, J. E. R.; GASQUES, J. G. Agricultura, transformação produtiva e sustentabilidade. IPEA, 2016.

- VIEIRA, N. P. A.; BUENO, E. de O.; PEREIRA, S. B.; MELLO, C. R. de. Water footprint of the Sobradinho hydropower plant, Northeastern Brazil. *Rev. Ambient. Água*, v. 13, n. 3, 2018.
- VIEIRA, N. P. A.; PEREIRA, S. B.; MARTINEZ, M. A.; SILVA, D. D. da; SILVA, F. B. Estimativa da evaporação nos reservatórios de Sobradinho e Três Marias usando diferentes modelos. *Eng. Agríc.*, v. 36, n. 3, p. 433-448, 2016. DOI:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430>
- VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. Exploring the water-energy nexus in Brazil: The electricity use for water supply. *Energy*, v. 85, p. 415-432, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.083>
- VILLAMAYOR-TOMAS, S.; GRUNDMANN, P.; EPSTEIN, G.; EVANS, T.; KIMMICH, C. The water-energy-food security nexus through the lenses of the value chain and the Institutional Analysis and Development frameworks. *Water Alternatives*, v.8, p.735-755, 2015.
- VLOTMAN, W.F.; BALLARD, C. Water, Food And Energy Supply Chains For A Green Economy. *Irrig. and Drain.*, v.63, p.232–240, 2014. <https://doi.org/10.1002/ird.1835>
- VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 2ª Edição, v.1, 1995, 243 p.
- VON SPERLING, M. Urban wastewater treatment in Brazil. Department of Sanitary and Environmental Engineering Federal University of Minas Gerais Brazil: Inter-American Development Bank, 2016, 102p.
- WACCLIM - Water and Wastewater Companies for Climate Mitigation. Disponível em:<<https://wacclim.org/>>. Acesso em: julho 2019.
- WAKEEL, M.; CHEN, B.; HAYAT, T.; ALSAEDI, A.; AHMAD, B. Energy consumption for water use cycles in different countries: A review. *Applied Energy*, v.178, p.868-885, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.114>
- WALDHEIM, L.; MONIS, M.; LEAL, M.R.L.V. Biomass Power Generation: Sugar Cane Bagasse and Trash. In: *Progress in Thermochemical Biomass Conversion*, p.509 – 523, 2018. DOI: 10.1002/9780470694954.ch41
- WALKER, R. V.; BECK, M.B.; HALL, J.W.; DAWSON, R.J.; HEIDRICH, O. The energy-water-food nexus: Strategic analysis of technologies for transforming the urban metabolism. *Journal of Environmental Management*, n. 141 p. 104-115, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.054>
- WANG, S.; CHEN, B. Energy–water nexus of urban agglomeration based on multiregional input–output tables and ecological network analysis: A case study of the Beijing–Tianjin–Hebei region. *Applied Energy*, v.178, p.773-783, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.06.112>
- WANG, S.; FATH, B.; CHEN, B. Energy–water nexus under energy mix scenarios using input–output and ecological network analyses. *Applied Energy*, 233–234, 827-839, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.056>
- WATERSTAT - Water footprint statistics. Disponível em:<<https://waterfootprint.org/en/resources/waterstat/>>. Acesso em: novembro 2019.
- WEF - WORLD ECONOMIC FORUM. Water security: the water-food-energy-climate nexus. In: *Conference: The Water, Energy and Food Security Nexus*, Washington: Island Press, 2011. Disponível em:

http://www3.weforum.org/docs/WEF_WI_WaterSecurity_WaterFoodEnergyClimateNexus_2011.pdf. Acesso em: fev. 2019.

WHITE, D.J.; HUBACEK, K.; FENG, K.; SUN, L.; MENG, B. The Water-Energy-Food Nexus in East Asia: A tele-connected value chain analysis using inter-regional input-output analysis. *Applied Energy*, v.210, p.550-567, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.05.159>

WHO - World Health Organization. Better health care waste management: an integral component of health investment. WHO Library Cataloguing, 2005.

_____. Guidelines on sanitation and health. WHO Library Cataloguing, 2018.

_____. Progress on sanitation and drinking-water - 2014 update. WHO Library Cataloguing, 2014.

WICAKSONO, A.; JEONG, G.; KANG, D. Water, energy, and food nexus: review of global implementation and simulation model development. *Water Policy Uncorrected Proof*, v. 19, p. 440-462, 2017. DOI: 10.2166/wp.2017.214.

WICAKSONO, A.; KANG, D. Nationwide simulation of water, energy, and food nexus: Case study in South Korea and Indonesia. *Journal of Hydro-environment Research*, v.22, p.70–87, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2018.10.003>

WICHELNS, D. The water-energy-food nexus: Is the increasing attention warranted, from either a research or policy perspective? *Environmental Science & Policy*, v. 69, p. 113–123, 2017.

WILLET, J.; WETSER, K.; VREEBURG, J.; RIJNAARTS, H. H. M. Review of methods to assess sustainability of industrial water use. *Water Resources and Industry*, v.21, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2019.100110>

WILLIS, H.H.; GROVES, D.G.; RINGEL, J.S.; MAO, Z.; EFRON, S.; ABBOTT, M. Developing The Pardee Rand Food – Energy – Water Security Index – Toward a Global Standardized, Quantitative, and Transparent Resource Assessment. RAND Corporation, Santa Monica, Calif, 2016.

WINMORE, K.; SUMAIYA, D.A.; BECKEDHAL, H.; ABEL, C. Assessing Public Participation in Water Conservation and Water Demand Management in Water Stressed Urban Areas: Insights from the City of Gweru, Zimbabwe. *Review of Social Sciences*, v. 01, n.08, p. 30-43, 2016.

WOLFE, M. L.; TING, K. C.; SCOTT, N.; SHARPLEY, A.; JONES, J. W.; VERMA, L. Engineering solutions for food- nergy-water systems: it is more than engineering. *J Environ Stud Sci*, 6, 172–182, 2016. DOI 10.1007/s13412-016-0363-z

WORLDOMETER. Population. Disponível em:< <https://www.worldometers.info/about/>> Acesso em abril de 2020.

WU, M.; CHIU, Y. Consumptive Water Use in the Production of Ethanol and Petroleum Gasoline — 2011 Update, 2011. Disponível em:< <https://greet.es.anl.gov/publication-consumptive-water>>. Acesso em: jan. 2019.

XIANG, X.; SVENSSON, J.; JIA, S. “Will the energy industry drain the water used for agricultural irrigation in the Yellow River basin?” *International Journal of Water Resources Development*, v. 33, p. 69 – 80, 2016. DOI: 10.1080/07900627.2016.1159543.

- XIE, X.; JIA, B.; HAN, G.; WU, S.; DAI, J.; WEINBERG, J. A Historical Data Analysis of Water-Energy Nexus in the Past 30 Years Urbanization of Wuxi City, China. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, v.37, 2017. <https://doi.org/10.1002/ep.12754>
- XU, S.; HE, W.; SHEN, J.; DEGEFU, D.M.; YUAN, L.; KONG, Y. Coupling and Coordination Degrees of the Core Water–Energy–Food Nexus in China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, v.16, 1648, 2019. DOI:10.3390/ijerph16091648
- YAN, X.; JIANG, D.; FU, J.; HAO, M. Assessment of Sweet Sorghum-Based Ethanol Potential in China within the Water–Energy–Food Nexus Framework. *Sustainability*, v.10, 1046, 2018. DOI:10.3390/su10041046
- YANG, H.; ROOD, S. B.; FLANAGAN, L. B. Controls on ecosystem water-use and water-use efficiency: Insights from a comparison between grassland and riparian forest in the northern Great Plains. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 271, p. 22-32, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2019.02.034>
- YAO, Q.; JOSHI, P.; CHANG, C-F.; MCDONALDS, C.; TRAN, J. Advocating a New Approach to Governing Water, Energy, and Food Security: Testing the Effects of Message Inoculation and Conclusion Explicitness in the Case of the WEF Nexus. *Journal of International Crisis and Risk Communication Research*, v.1,n.1, 2018. <https://doi.org/10.30658/jicrcr.1.1.6>
- YOUNG, R. A Survey of Energy Use in Water Companies. *Water Company Survey*, ACEEE, Washington, 2015.
- YU, B.; XU, L. Review of ecological compensation in hydropower development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, p. 729–738, 2016.
- YUAN, K-Y., LIN, Y-C.; CHIUH, P-T.; LO, S-L. Spatial optimization of the food, energy, and water nexus: A life cycle assessment-based approach. *Energy Policy*, 119, 502-514, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.05.009>
- ZENG, X. T.; ZHANG J. L.; YU, L.; ZHU, J. X.; LI, Z.; TANG, L. A sustainable water-food-energy plan to confront climatic and socioeconomic changes using simulation-optimization approach. *Applied Energy*, v. 236, p. 743-759, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.086>
- ZENG, X.T.; ZHANG, J.L.; YU, L.; ZHU, J.X.; LI, Z.; TANG, L. A sustainable water-food-energy plan to confront climatic and socioeconomic changes using simulation-optimization approach. *Applied Energy*, v.236, p.743–759, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.086>
- ZHANG, C.; CHEN, X.; LI, Y.; DING, W.; FU, G. Water-energy-food nexus: Concepts, questions and methodologies. *Journal of Cleaner Production*, v.195, p.625-639, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.194>
- ZHANG, P.; ZHANG, L.; CHANG, Y.; XU, M.; HAO, Y.; LIANG, S.; LIU, G.; YANG, Z.; WANG, C. Food-energy-water (FEW) nexus for urban sustainability: A comprehensive Review. *Resources, Conservation & Recycling*, v.142, p.215-224, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.018>
- ZHANG, Y.; HUANG, K.; YU, Y.; YANG, B. Mapping of water footprint research: A bibliometric analysis during 2006 e 2015. *Journal of Cleaner Production*, v.149, p.70-79, 2017.

ZHANG, Y.H.P. Next generation biorefineries will solve the food, biofuels, and environmental trilemma in the energy–food–water nexus. *Energy Science and Engineering*, v.1, n.1, 27– 41, 2013. <https://doi.org/10.1002/ese3.2>

ZHOU, Y.; CHANG, L-C.; UEN, T-S.; GUO,S.; XU, C-Y.; CHANG, F-J. Prospect for small-hydropower installation settled upon optimal water allocation: An action to stimulate synergies of water-food-energy nexus. *Applied Energy*, v.238, p.668–682, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.069>

ZHUANG, Q.; QIN, Z.; CHEN, M. Biofuel, land and water: maize, switchgrass or Miscanthus?. *Environmental Research Letters*, v. 8, p.1-6, 2013. DOI:10.1088/1748-9326/8/1/015020

ZOBY, J. L. G.; MATOS, B. Águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na Política Nacional de Recursos Hídricos. In: XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002.

Apêndice A – Exemplos de publicações “nexus” utilizando diferentes associações entre temas multidisciplinares

Tema	Principais Publicações “nexus”
Desenvolvimento sustentável	Allouche <i>et al.</i> (2015), Al-Said & Elagib (2017), Amorim <i>et al.</i> (2018), Abdullaev & Rakhmatullayev (2016), Allan (2017), Bazilian <i>et al.</i> (2011), Brouwer <i>et al.</i> (2018), Cai <i>et al.</i> (2017), Dodder (2014), Endo <i>et al.</i> (2017), Giatti <i>et al.</i> (2016), Helmstedt <i>et al.</i> (2018), Howarth & Monasterolo (2016), Howells <i>et al.</i> (2013), Kang <i>et al.</i> (2016), Karabulut <i>et al.</i> (2018), Keskinen <i>et al.</i> (2015), Kling <i>et al.</i> (2017), Kraucunas <i>et al.</i> (2014), Leck <i>et al.</i> (2015), Liu (2016), Martinez-Hernandez <i>et al.</i> (2017), Mabhaudhi <i>et al.</i> (2016), Nanduri & Otieno (2011), Meza <i>et al.</i> (2015), Miralles-Wilhelm (2016), Mohtar & Lawford (2016), Nhamo <i>et al.</i> (2018), Olsson (2013), Pahl-Wostl (2017), Pardoe <i>et al.</i> (2017), Portney <i>et al.</i> (2018), Pueppke <i>et al.</i> (2018), Scott <i>et al.</i> (2011), Ringler <i>et al.</i> (2013), Rogers (2017), Sperling & Berke (2017), Strasser <i>et al.</i> (2015), Stucki & Sojamo (2012), Rasul & Sharma (2016), Taniguchi <i>et al.</i> (2015), Taniguchi <i>et al.</i> (2017), Urbaniec <i>et al.</i> (2017), Wicaksono <i>et al.</i> (2017), Wolfe <i>et al.</i> (2016), Wong & Pecora (2015), Xiang <i>et al.</i> (2016), Zhang <i>et al.</i> (2018), Zimmerman <i>et al.</i> (2016), Yao <i>et al.</i> (2018), Basheer & Elagib (2018), Bieber <i>et al.</i> (2018), Bijl <i>et al.</i> (2018), Ahmad & Khan (2016), Berardy & Chester (2017), Campana <i>et al.</i> (2018), Denooyer <i>et al.</i> (2016), Daccache <i>et al.</i> (2014), Daher & Mohtar (2015), Dale <i>et al.</i> (2015), Gondhalekar & Ramsauer (2016), Gurdak <i>et al.</i> (2017), Hanes <i>et al.</i> (2018), Hang <i>et al.</i> (2016), Hussien <i>et al.</i> (2018), Holt <i>et al.</i> (2017), Jalilov <i>et al.</i> (2018), Nanduri & Saavedra-Antolínez (2013), Logan & Stillwell (2018), Martinez <i>et al.</i> (2018), Mortensen <i>et al.</i> (2016), Ozturk (2015), Pacetti <i>et al.</i> (2015), Parkinson <i>et al.</i> (2018), Pradeleix <i>et al.</i> (2015), Ringler <i>et al.</i> (2016), Rulli <i>et al.</i> (2016), Smidt <i>et al.</i> (2016), Saladini <i>et al.</i> (2018), Schlor <i>et al.</i> (2018), Shang <i>et al.</i> (2018), Silalertruksa & Gheewala (2018), Spiegelberg <i>et al.</i> (2017), Stang <i>et al.</i> (2018), Sun <i>et al.</i> (2018), Scott (2011), Susnik <i>et al.</i> (2018), Tian <i>et al.</i> (2018), Walker <i>et al.</i> (2014), White <i>et al.</i> (2018), Xie <i>et al.</i> (2017), Yan <i>et al.</i> (2018), Yuan <i>et al.</i> (2018), Zhang & Vesselinov (2017), Ziv <i>et al.</i> (2018), Yang <i>et al.</i> (2016), Amjath-Babu <i>et al.</i> (2019), Baleta <i>et al.</i> (2019), Bamwesigye <i>et al.</i> (2019), Bréthaut <i>et al.</i> (2019), Castillo <i>et al.</i> (2019), Chen <i>et al.</i> (2019), Cherchi <i>et al.</i> (2019), Engstrom <i>et al.</i> (2019), Escobedo <i>et al.</i> (2019), Gu <i>et al.</i> (2019), Hazarika & Jandl (2019), Haupt (2019), Huckleberry & Potts (2019), Kalair <i>et al.</i> (2019), Karabulut <i>et al.</i> (2019), Kilkis (2019), Li <i>et al.</i> (2019), McNally <i>et al.</i> (2019), Meisch <i>et al.</i> (2019), Meng <i>et al.</i> (2019), Mercure <i>et al.</i> (2019), Momblanch <i>et al.</i> (2019), Namany <i>et al.</i> (2019), Nie <i>et al.</i> (2019), Mohammed <i>et al.</i> (2019)
Mudança climática	Allouche <i>et al.</i> (2015), Al-Said & Elagib (2017), Amorim <i>et al.</i> (2018), Abdullaev & Rakhmatullayev (2016), Allan (2017), Bazilian <i>et al.</i> (2011), Brouwer <i>et al.</i> (2018), Dodder (2014), Endo <i>et al.</i> (2017), Giatti <i>et al.</i> (2016), Howarth & Monasterolo (2016), Howells <i>et al.</i> (2013), Kang <i>et al.</i> (2016), Karabulut <i>et al.</i> (2018), Keskinen <i>et al.</i> (2015), Kling <i>et al.</i> (2017), Leck <i>et al.</i> (2015), Liu (2016), Martinez-Hernandez <i>et al.</i> (2017), Mabhaudhi <i>et al.</i> (2016), Miralles-Wilhelm (2016), Nhamo <i>et al.</i> (2018), Olsson (2013), Pahl-Wostl (2017), Pardoe <i>et al.</i> (2017), Portney <i>et al.</i> (2018), Pueppke <i>et al.</i> (2018), Scott <i>et al.</i> (2011), Ringler <i>et al.</i> (2013), Rogers (2017), Rasul & Sharma (2016), Taniguchi <i>et al.</i> (2015), Urbaniec <i>et al.</i> (2017), Wicaksono <i>et al.</i> (2017), Wolfe <i>et al.</i> (2016), Xiang <i>et al.</i> (2016), Zhang <i>et al.</i> (2018), Basheer & Elagib (2018), Bijl <i>et al.</i> (2018), Ahmad & Khan (2016), Berardy & Chester (2017), Bekchanov & Lamers (2016), DeNooyer <i>et al.</i> (2016), Daccache <i>et al.</i> (2014), Daher & Mohtar (2015), Dale <i>et al.</i> (2015), Gondhalekar & Ramsauer (2016), Hanes <i>et al.</i> (2018), Hussien <i>et al.</i> (2018), Holt <i>et al.</i> (2017), Logan & Stillwell (2018), Ozturk (2015), Pacetti <i>et al.</i> (2015), Parkinson <i>et al.</i> (2018), Saladini <i>et al.</i> (2018), Shang <i>et al.</i> (2018), Silalertruksa & Gheewala (2018), Sun <i>et al.</i> (2018), Sušnik <i>et al.</i> (2018), Tian <i>et al.</i> (2018), Walker <i>et al.</i> (2014), White <i>et al.</i> (2018), Xie <i>et al.</i> (2017), Yan <i>et al.</i> (2018), Yuan <i>et al.</i> (2018), Amjath-Babu <i>et al.</i> (2019), Baleta <i>et al.</i> (2019), Bamwesigye <i>et al.</i> (2019), Bréthaut <i>et al.</i> (2019), Castillo <i>et al.</i> (2019), Chen <i>et al.</i> (2019), Cherchi <i>et al.</i> (2019), Engström <i>et al.</i> (2019), Escobedo <i>et al.</i> (2019), Gu <i>et al.</i> (2019), Hazarika & Jandl (2019), Haupt (2019), Huckleberry & Potts (2019), Kalair <i>et al.</i> (2019), Karabulut <i>et al.</i> (2019), Kilkis (2019), Li <i>et al.</i> (2019), McNally <i>et al.</i> (2019), Meisch <i>et al.</i> (2019), Meng <i>et al.</i> (2019), Mercure <i>et al.</i> (2019), Momblanch <i>et al.</i> (2019), Namany <i>et al.</i> (2019), Nie <i>et al.</i> (2019), Mohammed <i>et al.</i> (2019), Sahle <i>et al.</i> (2019), Sarkodie <i>et al.</i> (2019), Wang <i>et al.</i> (2019), Simpson & Jewitt (2019), Willet <i>et al.</i> (2019), Yang <i>et al.</i> (2019), Zhang <i>et al.</i> (2019), Zeng <i>et al.</i> (2019)
Segurança hídrica, energética e alimentar	Amorim <i>et al.</i> (2018), Al-Said & Elagib (2017), Abdullaev & Rakhmatullayev (2016), Bazilian <i>et al.</i> (2011), Beck & Walker (2013), Bell <i>et al.</i> (2016), Berson <i>et al.</i> (2015), D’Odorico <i>et al.</i> (2018), Ferrazo & Moraes (2018), Grenade <i>et al.</i> (2016), Guillaume <i>et al.</i> (2015), Gulati <i>et al.</i> (2013), Hoolohan <i>et al.</i> (2018), Foran (2015), Irabien & Darton (2015), Jarvie <i>et al.</i> (2015), Kaddoura & Kathib (2017), Kang <i>et al.</i> (2016), Karabulut <i>et al.</i> (2018), Keskinen & Varis (2016), Keskinen <i>et al.</i> (2015), Kibler <i>et al.</i> (2018), Kurian (2017), Laurentiis <i>et al.</i> (2016), Lawford <i>et al.</i> (2013), Leck <i>et al.</i> (2015), Lele <i>et al.</i> (2013), Mannan <i>et al.</i> (2018), Leese & Meisch (2015), Mabhaudhi <i>et al.</i> (2016), Matthews & Mccartney (2017), Meza <i>et al.</i> (2015), Mohtar & Daher (2012), Muller (2015), Olsson (2013), Pahl-Wostl (2017), Perrone & Hornberger (2016), Rasul (2016), Rasul (2014), Reddy <i>et al.</i> (2018), Salmoral & Yan (2018), Scanlon <i>et al.</i> (2017), Schmidt & Matthews (2018), Ringler <i>et al.</i> (2013), Rogers (2017), Smajgl <i>et al.</i> (2016), Srinivasan <i>et al.</i> (2017), Stucki & Sojamo (2012), Taniguchi <i>et al.</i> (2015), Vanham (2016), Varbanov (2014), Villamayor-Tomas <i>et al.</i> (2015), Vlotman & Ballard (2014), Wichelns (2017), Wolfe <i>et al.</i> (2016), Xiang <i>et al.</i> (2016), Zhang <i>et al.</i> (2018), Zhang (2013), Zhu <i>et al.</i> (2018), Zimmerman <i>et al.</i> (2016), Abdelkader <i>et al.</i> (2018), Al-Ansari <i>et al.</i> (2015), Bieber <i>et al.</i> (2018), Gençer & Agrawal (2018), Daccache <i>et al.</i> (2014), Daher & Mohtar (2015), Gondhalekar & Ramsauer (2016), Hang <i>et al.</i> (2016), Jalilov <i>et al.</i> (2016), Jalilov <i>et al.</i> (2018), Jiang <i>et al.</i> (2017), Karlberg <i>et al.</i> (2015), Li <i>et al.</i> (2016), Moioli <i>et al.</i> (2016), Mortensen <i>et al.</i> (2016), Ozturk (2015), Ozturk (2017),



	Parkinson <i>et al.</i> (2018), Ramaswami <i>et al.</i> (2017), Ringler <i>et al.</i> (2016), Rulli <i>et al.</i> (2016), Saladini <i>et al.</i> (2018), Siciliano <i>et al.</i> (2017), Scott (2011), Yuan <i>et al.</i> (2018), Zhou <i>et al.</i> (2016), Allam & Eltahir (2019), Bamwesigye <i>et al.</i> (2019), Castillo <i>et al.</i> (2019), Karabulut <i>et al.</i> (2019), McNally <i>et al.</i> (2019), Roidt & Avellan (2019), Sahle <i>et al.</i> (2019), Simpson & Jewitt (2019)
Políticas públicas	Albrecht <i>et al.</i> (2018), Allouche <i>et al.</i> (2015), Al-Said & Elagib (2017), Amorim <i>et al.</i> (2018), Artioli <i>et al.</i> (2017), Abdullaev & Rakhmatullev (2016), Allan (2017), Bazilian <i>et al.</i> (2011), Bleischwitz <i>et al.</i> (2013), Brouwer <i>et al.</i> (2018), Cairns & Krzywoszyńska (2016), Chang <i>et al.</i> (2016), Endo <i>et al.</i> (2017), Endo <i>et al.</i> (2015), Ferraço & Moraes (2018), Foden <i>et al.</i> (2018), Foran (2015), Karabulut <i>et al.</i> (2018), Keskinen & Varis (2016), Kibler <i>et al.</i> (2018), Muller (2015), Pardoe <i>et al.</i> (2017), Perrone & Hornberger (2016), Portney <i>et al.</i> (2018), Pueppke <i>et al.</i> (2018), Rasul (2016), Reddy <i>et al.</i> (2018), Sanders & Masri (2016), Scott <i>et al.</i> (2011), Ringler <i>et al.</i> (2013), Stephan <i>et al.</i> (2018), Siddiqi & Anadon (2011), Sperling & Berke (2017), Stein <i>et al.</i> (2018), Strasser <i>et al.</i> (2015), Gallagher <i>et al.</i> (2017), Stucki & Sojamo (2012), Bhaduri <i>et al.</i> (2015), Rasul & Sharma (2016), Venghaus & Hake (2018), Wicaksono <i>et al.</i> (2017), Wichelns (2017), Denooyer <i>et al.</i> (2016), Bullock & Bowman (2017), Daccache <i>et al.</i> (2014), Daher & Mohtar (2015), Jalilov <i>et al.</i> (2016), Jalilov <i>et al.</i> (2018), Logan & Stillwell (2018), Owen <i>et al.</i> (2018), Li <i>et al.</i> (2016), Martinez <i>et al.</i> (2018), Ozturk (2015), Ozturk (2017), Qin <i>et al.</i> (2015), Smidt <i>et al.</i> (2016), Susnik <i>et al.</i> (2018), Talozzi <i>et al.</i> (2015), Tidwell & Pebbles (2015), Xie <i>et al.</i> (2017), Zhao <i>et al.</i> (2017), Zhou <i>et al.</i> (2016), Ziv <i>et al.</i> (2018), Amjath-Babu <i>et al.</i> (2019), Bréthaut <i>et al.</i> (2019), Di Felice <i>et al.</i> (2019), Fan <i>et al.</i> (2019), Gu <i>et al.</i> (2019), Hazarika & Jandl (2019), Karabulut <i>et al.</i> (2019), Meng <i>et al.</i> (2019), Mercure <i>et al.</i> (2019), Mohammed <i>et al.</i> (2019), Simpson & Jewitt (2019), Zheng <i>et al.</i> (2019)
Gestão Integrada de Recursos Hídricos	Albrecht <i>et al.</i> (2018), Allouche <i>et al.</i> (2015), Amorim <i>et al.</i> (2018), Abdullaev & Rakhmatullev (2016), Becken & McLennan (2016), Berson <i>et al.</i> (2015), Cai <i>et al.</i> (2017), Cairns & Krzywoszyńska (2016), Endo <i>et al.</i> (2017), Ferraço & Moraes (2018), Grenade <i>et al.</i> (2016), Howells <i>et al.</i> (2013), Kaddoura & Kathib (2017), Keskinen & Varis (2016), Keskinen <i>et al.</i> (2015), Kurian (2017), Leck <i>et al.</i> (2015), Mohtar & Lawford (2016), Muller (2015), Pahl-Wostl (2017), Sanders & Masri (2016), Schmidt & Matthews (2018), Ringler <i>et al.</i> (2013), Smajgl <i>et al.</i> (2016), Strasser <i>et al.</i> (2015), Stucki & Sojamo (2012), Rasul & Sharma (2016), Liu <i>et al.</i> (2017), Urbaniec <i>et al.</i> (2017), Villamayor-Tomas <i>et al.</i> (2015), Vlotman & Ballard (2014), Wichelns (2017), Abdelkader <i>et al.</i> (2018), Daccache <i>et al.</i> (2014), Dale <i>et al.</i> (2015), Gondhalekar & Ramsauer (2016), Gurdak <i>et al.</i> (2017), Holt <i>et al.</i> (2017), Jalilov <i>et al.</i> (2016), Jalilov <i>et al.</i> (2018), Martinez <i>et al.</i> (2018), Ozturk (2015), Ozturk (2017), Smidt <i>et al.</i> (2016), Silalertruksa & Gheewala (2018), Spiegelberg <i>et al.</i> (2017), Tidwell & Pebbles (2015), Zhao <i>et al.</i> (2017), Cherchi <i>et al.</i> (2019), Fan <i>et al.</i> (2019), Kılıç (2019), Momblanch <i>et al.</i> (2019), Roidt & Avellan (2019), Schneider <i>et al.</i> (2019), Wicaksono & Kang (2019), Simpson & Jewitt (2019)
Governança	Al-Said & Elagib (2017), Abdullaev & Rakhmatullev (2016), Berson <i>et al.</i> (2015), D'Odorico <i>et al.</i> (2018), Grenade <i>et al.</i> (2016), Lawford <i>et al.</i> (2013), Lele <i>et al.</i> (2013), Portney <i>et al.</i> (2017), Schmidt & Matthews (2018), Kalair <i>et al.</i> (2019), Albrecht <i>et al.</i> (2018), Amorim <i>et al.</i> (2018), Artioli <i>et al.</i> (2017), Boas <i>et al.</i> (2016), Franz <i>et al.</i> (2017), Gulati <i>et al.</i> (2013), Hoolohan <i>et al.</i> (2018), Howarth & Monasterolo (2016), Kurian (2017), Leck <i>et al.</i> (2015), Larcom & Gevelt (2017), Lele <i>et al.</i> (2013), Mohtar & Lawford (2016), Pahl-Wostl (2017), Portney <i>et al.</i> (2017), Schmidt & Matthews (2018), Scott <i>et al.</i> (2011), Rogers (2017), Stein <i>et al.</i> (2018), Gallagher <i>et al.</i> (2017), Bhaduri <i>et al.</i> (2015), Taniguchi <i>et al.</i> (2017), Venghaus & Hake (2018), Wicaksono <i>et al.</i> (2017), Wolfe <i>et al.</i> (2016), Martinez <i>et al.</i> (2018), Bréthaut <i>et al.</i> (2019), Huckleberry & Potts (2019), Namany <i>et al.</i> (2019), Nie <i>et al.</i> (2019), Wicaksono & Kang (2019), Simpson & Jewitt (2019)
Alocação de água	Howells <i>et al.</i> (2013), King & Carbajales-Dale (2016), Madani & Khatami (2015), Nanduri & Otieno (2011), Miralles-Wilhelm (2016), Mohtar & Daher (2012), Srinivasan <i>et al.</i> (2017), Taniguchi <i>et al.</i> (2015), Taniguchi <i>et al.</i> (2017), Wicaksono <i>et al.</i> (2017), Xiang <i>et al.</i> (2016), Basheer & Elagib (2018), Basheer <i>et al.</i> (2018), Bekchanov & Lamers (2016), Dale <i>et al.</i> (2015), Jalilov <i>et al.</i> (2015), Jalilov <i>et al.</i> (2016), Jalilov <i>et al.</i> (2018), Ozturk (2015), Peck & Smith (2017), Smidt <i>et al.</i> (2016), Shang <i>et al.</i> (2018), Uen <i>et al.</i> (2018), Xie <i>et al.</i> (2017), Zhao <i>et al.</i> (2017), Yang <i>et al.</i> (2016), Allam & Eltahir (2019), Semertzidis <i>et al.</i> (2018), Hu <i>et al.</i> (2019), Huckleberry & Potts (2019), Kalair <i>et al.</i> (2019), Liu <i>et al.</i> (2019), Meisch <i>et al.</i> (2019), Momblanch <i>et al.</i> (2019), Namany <i>et al.</i> (2019), Rosa & D'Odorico (2019), Willet <i>et al.</i> (2019), Xian Li <i>et al.</i> (2019), Zeng <i>et al.</i> (2019), Zhou <i>et al.</i> (2019)
Eficiência hídrica e energética	Ozturk (2015), Pacetti <i>et al.</i> (2015), Parkinson <i>et al.</i> (2018), Peck & Smith (2017), Ringler <i>et al.</i> (2016), Smidt <i>et al.</i> (2016), Saladini <i>et al.</i> (2018), Shang <i>et al.</i> (2018), Silalertruksa & Gheewala (2018), Stang <i>et al.</i> (2018), Sun <i>et al.</i> (2018), Scott (2011), Susnik (2018), Tian <i>et al.</i> (2018), Tidwell & Pebbles (2015), Uen <i>et al.</i> (2018), Valdez <i>et al.</i> (2016), Walker <i>et al.</i> (2014), Wang & Chen (2016), White <i>et al.</i> (2018), Xie <i>et al.</i> (2017), Yan <i>et al.</i> (2018), Yang & Wi (2018), Yuan <i>et al.</i> (2018), Zhang & Vesselinov (2017), Zhao <i>et al.</i> (2017), Zhou <i>et al.</i> (2016), Yang <i>et al.</i> (2016), Baleta <i>et al.</i> (2019), Chen <i>et al.</i> (2019), Cherchi <i>et al.</i> (2019), Semertzidis <i>et al.</i> (2018), Dargin <i>et al.</i> (2019), Engstrom <i>et al.</i> (2019), Escobedo <i>et al.</i> (2019), Feng <i>et al.</i> (2019), Gu <i>et al.</i> (2019), Haupt (2019), Jin <i>et al.</i> (2019), Kalair <i>et al.</i> (2019), Karabulut <i>et al.</i> (2019), Kılıç (2019), Li <i>et al.</i> (2019), Namany <i>et al.</i> (2019), Nawab <i>et al.</i> (2019), Nie <i>et al.</i> (2019), Sahle <i>et al.</i> (2019), Sarkodie <i>et al.</i> (2019), Schneider <i>et al.</i> (2019), Shayesteh <i>et al.</i> (2019), Willet <i>et al.</i> (2019), Xian Li <i>et al.</i> (2019), Yang <i>et al.</i> (2019), Zhang <i>et al.</i> (2019), Zeng <i>et al.</i> (2019), Zhou <i>et al.</i> (2019)
Serviços Ecosistêmicos	Bell <i>et al.</i> (2016), Delonge & Basche (2017), Franz <i>et al.</i> (2017), Grenade <i>et al.</i> (2016), Irabien & Darton (2015), Jarvie <i>et al.</i> (2015), Karabulut <i>et al.</i> (2018), Liu (2016), Rasul (2014), Ringler <i>et al.</i> (2013), Srinivasan <i>et al.</i> (2017), Strasser <i>et al.</i> (2015), Vanham (2016), Hanes <i>et al.</i> (2018), Karabulut <i>et al.</i> (2016), Ozturk (2017), Rulli <i>et al.</i> (2016),

	Spiegelberg <i>et al.</i> (2017), Tian <i>et al.</i> (2018), Chen <i>et al.</i> (2019), Escobedo <i>et al.</i> (2019), Garcia <i>et al.</i> (2019), Karabulut <i>et al.</i> (2019), Li <i>et al.</i> (2019), McNally <i>et al.</i> (2019), Meisch <i>et al.</i> (2019), Sahle <i>et al.</i> (2019)
Operação de reservatório	Giatti <i>et al.</i> (2016), Nanduri & Otieno (2011), Pueppke <i>et al.</i> (2018), Siddiqi & Anadon (2011), Bhaduri <i>et al.</i> (2015), Basheer & Elagib (2018), Basheer <i>et al.</i> (2018), Bieber <i>et al.</i> (2018), Bijl <i>et al.</i> (2018), Bekchanov & Lamers (2016), Jalilov <i>et al.</i> (2015), Jalilov <i>et al.</i> (2016), Jalilov <i>et al.</i> (2018), Logan & Stillwell (2018), Peck & Smith (2017), Uen <i>et al.</i> (2018), Yang & Wi (2018), Zhao <i>et al.</i> (2017), Yang <i>et al.</i> (2016), Allam & Eltahir (2019), Chen <i>et al.</i> (2019), Cherchi <i>et al.</i> (2019), Semertzidis <i>et al.</i> (2018), Hu <i>et al.</i> (2019), Huckleberry & Potts (2019), Kalair <i>et al.</i> (2019), Momblanch <i>et al.</i> (2019), Namany <i>et al.</i> (2019), Rosa & D'Odorico (2019), Sahle <i>et al.</i> (2019), Zeng <i>et al.</i> (2019), Zhou <i>et al.</i> (2019)
Gestão Integrada de Recursos Naturais	Al-Said & Elagib (2017), Artioli <i>et al.</i> (2017), Becken & McLennan (2016), Biggs <i>et al.</i> (2015), Cairns & Krzywoszynska (2016), Ferraço & Moraes (2018), Helmstedt <i>et al.</i> (2018), Howells <i>et al.</i> (2013), Leck <i>et al.</i> (2015), Liu (2016), Sanders & Masri (2016), Venghaus & Hake (2018), Villamayor-Tomas <i>et al.</i> (2015), Wichelns (2017), Silalertruksa & Gheewala (2018), Spiegelberg <i>et al.</i> (2017), Hu <i>et al.</i> (2019), Namany <i>et al.</i> (2019), Roidt & Avellan (2019), Schneider <i>et al.</i> (2019), Simpson & Jewitt (2019)
Economia Verde/ Desenvolvimento verde	Allouche <i>et al.</i> (2015), Al-Said & Elagib (2017), Abdullaev & Rakhmatullev (2016), Beck & Walker (2013), Grenade <i>et al.</i> (2016), Hake <i>et al.</i> (2016), Kaddoura & Kathib (2017), Karabulut <i>et al.</i> (2018), Leese & Meisch (2015), Pahl-Wostl (2017), Schmidt & Matthews (2018), Ringler Et Al. (2013), Vlotman & Ballard (2014), Yao <i>et al.</i> (2018), Schlor <i>et al.</i> (2018), Escobedo <i>et al.</i> (2019), Garcia <i>et al.</i> (2019), Karabulut <i>et al.</i> (2019), Roidt & Avellan (2019), Simpson & Jewitt (2019)
Resiliência	Beck & Walker (2013), D'Odorico <i>et al.</i> (2018), Ferraço & Moraes (2018), Guillaume <i>et al.</i> (2015), Jarvie <i>et al.</i> (2015), Leck <i>et al.</i> (2015), Matthews & McCartney (2017), Nhamo <i>et al.</i> (2018), Schmidt & Matthews (2018), Stucki & Sojamo (2012), Zimmerman <i>et al.</i> (2016), Schlor <i>et al.</i> (2018), Amjath-Babu <i>et al.</i> (2019), Haupt (2019), Karabulut <i>et al.</i> (2019), Zhang <i>et al.</i> (2019)
“Risco”	Allouche <i>et al.</i> (2015), Allan (2017), Matthews & McCartney (2017), Schmidt & Matthews (2018), Rogers (2017), Gallagher <i>et al.</i> (2017), Yao <i>et al.</i> (2018), Hussien <i>et al.</i> (2018), Mukhtar & Imran (2016), Mortensen <i>et al.</i> (2016), Pacetti <i>et al.</i> (2015), Bamwesigye <i>et al.</i> (2019), Mohammed <i>et al.</i> (2019), Amorim <i>et al.</i> (2018), Wong & Pecora (2015), Parkinson <i>et al.</i> (2018)
Gestão integrada de Resíduos Sólidos	D'Odorico <i>et al.</i> (2018), Garcia & You (2017), Helmstedt <i>et al.</i> (2018), Kibler <i>et al.</i> (2018), Urbaniec <i>et al.</i> (2017), Vlotman & Ballard (2014), Wolfe <i>et al.</i> (2016), Kilks & Kilks (2017), Owen <i>et al.</i> (2018), Gu <i>et al.</i> (2019), Garcia <i>et al.</i> (2019), Kılıç (2019), Roidt & Avellan (2019), Schneider <i>et al.</i> (2019), Shayesteh <i>et al.</i> (2019)
Pagamento por Serviços Ambientais	Amorim <i>et al.</i> (2018), Bell <i>et al.</i> (2016), Franz <i>et al.</i> (2017), Garcia & You (2017), Liu (2016), Matthews & McCartney (2017), Rasul (2014), Stephan <i>et al.</i> (2018), Garcia <i>et al.</i> (2019)
Gestão adaptativa	Franz <i>et al.</i> (2017), Gallagher <i>et al.</i> (2017), Rasul & Sharma (2016), Gondhalekar & Ramsauer (2016), Bréthaut <i>et al.</i> (2019)
Economia Circular	Bergendahl <i>et al.</i> (2018), D'Odorico <i>et al.</i> (2018), Sperling & Berke (2017), Kilks & Kilks (2017), Baleta <i>et al.</i> (2019), Meng <i>et al.</i> (2019), Schneider <i>et al.</i> (2019)
Produção sustentável	Delonge & Basche (2017), D'Odorico <i>et al.</i> (2018); Tian <i>et al.</i> (2018); Kang <i>et al.</i> (2016); Garcia & You (2017); Jiang <i>et al.</i> (2017)
Água virtual	Vanham (2016); Vanham (2017); Semertzidis <i>et al.</i> (2018)
Globalização econômica	Franz <i>et al.</i> (2017), Sperling & Berke (2017), Zhang <i>et al.</i> (2018), McNally <i>et al.</i> (2019)
Agroecologia	Delonge & Basche (2017), D'Odorico <i>et al.</i> (2018)



Review

A Literature Review to Propose a Systematic Procedure to Develop “Nexus Thinking” Considering the Water–Energy–Food Nexus

Cássia Juliana Fernandes Torres ^{1,*} , Camilla Hellen Peixoto de Lima ²,
Bárbara Suzart de Almeida Goodwin ¹, Terencio Rebello de Aguiar Junior ¹ ,
Andréa Sousa Fontes ¹, Daniel Veras Ribeiro ³, Rodrigo Saldanha Xavier da Silva ¹ and
Yvonilde Dantas Pinto Medeiros ¹

¹ Department of Environmental Sanitary Engineering, Polytechnic School, Federal University of Bahia (UFBA), Salvador 40210630, Brazil; barbiesuzart@hotmail.com (B.S.d.A.G.); terencio.junior@ufba.br (T.R.d.A.J.); asfontes@gmail.com (A.S.F.); rrsaldanha91@gmail.com (R.S.X.d.S.); yvonilde.medeiros@gmail.com (Y.D.P.M.)

² Civil Engineering Program, Alberto Luiz Coimbra Institute for Postgraduate Studies and Research in Engineering (COPPE), Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro 21941909, Brazil; camillahpl@gmail.com

³ Department of Materials Science and Technology, Polytechnic School, Federal University of Bahia (UFBA), Salvador 40210630, Brazil; verasribeiro@hotmail.com

* Correspondence: torres.cjf@gmail.com

Received: 8 October 2019; Accepted: 23 November 2019; Published: 16 December 2019



Abstract: There is a growing interest in the literature on the theme of the water–energy–food nexus, as there is growing recognition that sectors that share natural resources have interdependent and interconnected systems. Despite the widespread popularity of nexus thinking, it still lacks standardized procedures and methodologies to assist in its development. Therefore, this paper proposes, from a literature review, a systematic procedure to assist in the development of management models based on nexus thinking. To this end, 304 papers were analyzed using the following criteria: nexus concept, type of approach, geographic scale, elements in the nexus system, application context, and types of assessment methods and tools. The results of the review served as the basis for determining the procedure, which consisted of four steps: (a) understanding nexus thinking, (b) identification of composing variables, (c) evaluation (diagnosis and prognosis), and (d) decision-making. In addition to the standardization of these steps, the main information used to compose the procedure was organized and synthesized with a mind map.

Keywords: Water–energy–food nexus; mind map; nexus concept; methodological development



PANORAMA DO NEXUS ÁGUA – ENERGIA – AGRICULTURA – INDÚSTRIA NO CONTEXTO BRASILEIRO

DOI: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e02020753-780>

Cássia Juliana Fernandes Torres ¹
Bárbara Suzart de Almeida Goodwin ²
Andrea Sousa Fontes ³
Daniel Veras Ribeiro ⁴
Yvonilde Dantas Pinto Medeiros ⁵



RESUMO

Existe um interesse crescente na literatura envolvendo o tema “water – energy – food nexus”. Esse interesse ocorre especialmente devido ao crescente reconhecimento das interdependências e interconexões entre setores econômicos que compartilham recursos naturais. Apesar da grande popularidade desse tema, ainda não foi identificado estudos que contemplem uma avaliação sistêmica das inter-relações entre seus elementos presentes no Brasil. Considerando essas premissas, este artigo tem por objetivo elaborar um diagnóstico das inter-relações entre o consumo de água e energia nas atividades agrícola, industrial, energética e de saneamento, visando estruturar o panorama das interligações existentes entre esses elementos no Brasil e direcionar futuras pesquisas que contemplem essa abordagem. Para isso, as análises foram realizadas a partir da disponibilidade de bases de dados setoriais. Os resultados alcançados apontam que: nas relações entre água e energia sobressaem as termoelétricas em função do alto consumo de água associado à tecnologia de resfriamento e a falta de análise da disponibilidade hídrica das regiões hidrográficas na maioria dos projetos de instalação desses tipos de usinas. Para as inter-relações entre energia e saneamento pôde-se perceber que a maior parcela de consumo de energia concentra-se nos sistemas de abastecimento de água, com destaque para as concessionárias de Alagoas e Rio Grande do Norte. Para o setor agrícola, observa-se que as culturas com maiores retiradas de água são: banana com (948,8 m³/s), arroz (793 m³/s), milho (614,5 m³/s), soja (400,6 m³/s) e cana-de-açúcar (364,5 m³/s). Já para o setor industrial, as indústrias que correspondem as maiores retiradas de água são: fabricação e refino de açúcar, fabricação de biocombustíveis, fabricação de celulose e outras pastas para a fabricação de papel, abate e fabricação de produtos de carne e siderurgia. Considerando os pontos levantados, recomenda-se a ampliação deste estudo para análise de dois aspectos: impacto das mudanças climáticas nas inter-relações identificadas e análise dos trade-off e sinergias associadas as essas interligações.

Palavras-chave: Usinas de energia. Consumo de água. Produção agrícola.

APÊNDICE C – Artigos publicados em Congressos

XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS - 2019

NEXUS ENERGIA – AGRICULTURA - ECOSISTEMA: UMA PROPOSTA PARA APOIO NA DEFINIÇÃO DE AÇÕES DE MITIGAÇÃO DE IMPACTOS NOS ECOSISTEMAS

Cássia Juliana Fernandes Torres¹; Bárbara Suzart de Almeida Goodwin²; Andrea Sousa Fontes³; Daniel Veras Ribeiro⁴ & Yvonilde Dantas Pinto Medeiros⁵

RESUMO – Este artigo tem por objetivo propor um modelo de estrutura organizacional para auxiliar na identificação das inter-relações entre os setores de energia e agricultura frente aos impactos promovidos nos ecossistemas como base para definição de ações de mitigação de danos ambientais associados. Neste sentido, foi conduzido um estudo qualitativo dividido nos seguintes pontos de análises: conceitual; proposição do modelo de estrutura organizacional; e exemplificação do modelo proposto, para os setores de energia e agricultura. A partir das análises conduzidas, é possível inferir que não existe um tipo de geração de energia e uma produção agrícola que não gere impactos nos ecossistemas. As inter-relações assinaladas entre esses setores de energia, agricultura e ecossistema podem ser caracterizadas como um sistema cíclico, dinâmico e interligado, e sua sistematização pode ser representada através de um modelo de estrutura organizacional definido como “Recursos – Consumo – Impacto – Pressão – Retorno – Resposta”. Mediante o exposto, é recomendada a aplicação desse modelo para um contexto específico de uma determinada localidade, abordando aspectos qualitativos e quantitativos; utilização de instrumentos de suporte para identificação e quantificação dos impactos, como por exemplo, Análise do Ciclo de Vida (ACV) e indicadores ambientais; e estudo da viabilidade técnica e econômica das ações identificadas.

ABSTRACT– This article aims to propose a model of organizational structure to help identify the interrelationships between the energy and agriculture sectors in relation to the impacts promoted in ecosystems as a basis for the definition of actions to mitigate associated environmental damages. In this sense, a qualitative study was conducted, divided into the following points of analysis: conceptual; proposition of the organizational structure model; and exemplification of the proposed model for the energy and agriculture sectors. From the analysis conducted, it is possible to infer that there is no type of energy generation and agricultural production that does not generate impacts on ecosystems. The interrelations between these energy, agriculture and ecosystem sectors can be characterized as a cyclical, dynamic and interconnected system, and their systematization can be represented through an organizational structure model defined as "Resources - Consumption - Impact - Pressure - Return - Response ". With the above, it is recommended to apply this model to a specific context of a given locality, addressing qualitative and quantitative aspects; use of support tools for identification and quantification of impacts, such as Life Cycle Assessment (LCA) and environmental indicators; and study of the technical and economic viability of the actions identified.

Palavras-Chave – Meio ambiente; Teoria dos nexus; Ações de mitigação.

DESAFIOS DO SETOR AGROPECUÁRIO BRASILEIRO FRENTE ÀS INTERDEPENDÊNCIAS DO CONSUMO DE ÁGUA E ENERGIA

Cássia Juliana Fernandes Torres¹; Bárbara Suzart de Almeida Goodwin²; Andrea Sousa Fontes³; Daniel Veras Ribeiro⁴ & Yvonilde Dantas Pinto Medeiros⁵

RESUMO – Este artigo tem por objetivo identificar os principais desafios do setor agropecuário brasileiro frente a teoria do nexus, considerando as interdependências existentes com os setores de energia e água. Para isso, foi realizada uma revisão bibliográfica sobre os temas em questão e analisado os dados do Censo Agropecuário referente ao ano de 2017. O setor agropecuário brasileiro apresenta uma grande heterogeneidade em sua estrutura produtiva, considerando as regiões do país. Criou-se uma disparidade entre estabelecimentos que possuem avanços nos processos produtivos vinculados à eficiência da gestão e uso de tecnologias, e estabelecimentos que apresentam baixas eficiências e ausência no uso das tecnologias. Diante disso, os principais desafios assinalados consiste em: substituir métodos de irrigação ineficientes por sistemas inteligentes de irrigação; investir na modernização da produção agropecuária para regiões específicas; reduzir os impactos e avanços da pecuária (em especial, bovinos) e da expansão agrícola (em especial, soja) na região da Amazônia; reduzir dietas à base de carne; alcançar as metas levantadas referente a iNDC brasileira; vencer os desafios supracitados diante do cenário político, econômico e cultural intrínseco no modelo de desenvolvimento do país e encontrar meios para reduzir a dependência dos investimentos públicos setoriais almejando soluções e investimentos também em iniciativas privadas.

ABSTRACT– This article aims to identify the main challenges of the Brazilian agricultural sector against nexus theory, considering the existing interdependencies with the energy and water sectors. For this, a bibliographical review was carried out on the subjects in question and analyzed the data of the Agricultural Census for the year 2017. The Brazilian agricultural sector presents a great heterogeneity in its productive structure, considering the regions of the country. A disparity was created between establishments that have advances in productive processes linked to the efficiency of the management and use of technologies, and establishments that present low efficiencies and lack of use of technologies. Thus, the main challenges are: to replace inefficient irrigation methods with intelligent irrigation systems; invest in the modernization of agricultural production for specific regions; reduce the impacts and advances of livestock (especially cattle) and agricultural expansion (especially soybeans) in the Amazon region; reduce meat-based diets; achieve the targets set for the Brazilian iNDC; to overcome the challenges mentioned above in view of the political, economic and cultural scenario inherent in the country's development model and to find ways to reduce dependence on sectoral public investments by seeking solutions and investments in private initiatives.

Palavras-Chave – Nexus água-energia-agropecuária; gestão; desenvolvimento sustentável.

MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA NO CONTEXTO DOS NEXUS ÁGUA-ENERGIA

Cássia Juliana Fernandes Torres¹; Sara Fontes Santana²; Andrea Sousa Fontes³; Daniel Veras Ribeiro⁴ & Yvonilde Dantas Pinto Medeiros⁵

RESUMO – Este estudo tem por objetivo analisar a matriz energética brasileira no contexto dos nexus água-energia para identificação de perspectivas de produção de energia que minimize os impactos nos recursos hídricos. Para tanto, foi conduzido uma revisão bibliográfica sobre a matriz energética nacional e suas relações com o consumo de água. A partir disso, pôde-se observar que todo tipo de energia interfere na quantidade e qualidade da água variando em função das características presentes nos processos de extração, geração, tratamento e distribuição. No Brasil, os avanços em sistemas híbridos (solar e eólica), biogás, biomassa produzida de forma sustentável, aumento da eficiência na extração dos combustíveis fósseis, e eficiência nos sistemas de resfriamento das termoeletricas, tendem a reduzir pressões sobre os recursos hídricos e diversificar cada vez mais a matriz energética do país. Diante disso, é necessário avanços em pesquisas que abordem as inter-relações entre água-energia de forma mais direcionada para cada tipologia de energia presente na matriz brasileira, em especial, voltado para as relações entre tipos de culturas (biomassa) com consumo dos recursos hídricos (pegada hídrica), e análise das eficiências presentes nas tecnologias e formas de produção de energia praticadas no cenário brasileiro.

ABSTRACT– This study aims to analyze the Brazilian energy matrix in the context of the water-energy nexus to identify prospects of energy production that minimize impacts on water resources. For this, a bibliographic review was conducted on the national energy matrix and its relation with water consumption. From this, it could be observed that all types of energy interfere in the quantity and quality of the water varying according to the characteristics present in the processes of extraction, generation, treatment and distribution. In Brazil, advances in hybrid systems (solar and wind), biogas, biomass produced in a sustainable manner, increased efficiency in the extraction of fossil fuels, and efficiency in the cooling systems of thermoelectric plants, tend to reduce pressures on water resources and diversify the energy matrix of the country. Therefore, it is necessary to make advances in research that address the interrelationships between water and energy in a more directed way for each type of energy present in the Brazilian matrix, in particular, focused on the relationship between types of crops with consumption of water resources (footprint hydro), and analysis of the efficiency present in the technologies and forms of energy production practiced in the Brazilian scenario.

Palavras-Chave – recursos hídricos; energia; inter-relações

TEORIA DOS NEXUS COMO PLANEJAMENTO ESTRATÉGICO PARA A ALOCAÇÃO DE ÁGUA

*Cássia Juliana Fernandes Torres*¹; *Rodrigo Saldanha Xavier da Silva*²; *Isabela Dantas Reis Gonçalves Basto*³; *Andrea Sousa Fontes*⁴; *Daniel Veras Ribeiro*⁵ & *Yvonilde Dantas Pinto Medeiros*⁶

RESUMO – Este artigo tem por objetivo identificar conceitos e analisar as principais contribuições para o instrumento de alocação de água ao inserir em suas discussões e processos a teoria dos nexus como planejamento estratégico. Para tanto, foi conduzida uma revisão bibliográfica sobre os temas em estudo. Diante disso, a inserção da teoria dos nexus no instrumento de alocação da água tende a contribuir em seis pontos: ampliação dos métodos de avaliação utilizados na alocação da água baseado na eficiência tecnológica e econômica; inserir no processo de alocação fontes de água não-convencional (água de reuso, dessalinização, etc.), visando a redução das pressões nos sistemas centralizados de captação da água; construção de um processo de alocação condicionada por meio de medidas compensatórias; construção de cenários estratégicos para diferentes condições climáticas, usos do solo, dentre outros fatores intervenientes; avaliação dos efeitos socioeconômicos e ambientais dos cenários construídos; e construção de um processo decisório integrado e intersetorial, embasado na governança conjunta dos segmentos de água-energia-agricultura. No entanto, alcançar esses objetivos em termos práticos envolve ainda muita pesquisa sócio-política, cultural, técnica-científica, e econômica, deslumbrando as reais possibilidades em concretizar os objetivos apontados. Além disso, os avanços nas discussões sobre nexus tende a ser facilitado em cenários de escassez e crises dos recursos que refletem em inseguranças e conflitos em toda sociedade, representando de fato, os impulsores de seu surgimento e o contexto atual de várias regiões do mundo.

ABSTRACT – This paper aims to identify concepts and analyze the main contributions to the water allocation instrument by inserting the nexus theory discussions and processes as strategic planning. For this purpose, was conducted a bibliographic review on the subjects under study. The insertion of the nexus theory in the water allocation instrument tends to contribute in six points: expansion of assessment methods used in water allocation through technological and economic efficiency; considering the allocation process in unconventional water sources (water reuse, desalination, etc.), seeking reduce centralized water collection systems pressures; establishing a conditional allocation process based on compensatory measures; strategic scenarios definition for different climate conditions, land uses, among other intervening factors; the socioeconomic and environmental effects assessment from the defined scenarios; and an integrated and intersectoral decision-making process formulation, through the joint governance of water-energy-agriculture segments. However, achieving these goals involves much socio-political, cultural, technical-scientific, and economic research, marking the real possibilities in achieving the stated objectives. In addition, advances in discussions about nexus tend to be facilitated in scarcity and resource crises scenarios that reflect on insecurities and conflicts in every society, actually representing the occurrence drivers and the current context of different regions of the world.

Palavras-Chave – Nexus Água - Energia - Agropecuária; Integração intersetorial; Eficiência.

SIMPÓSIO MUNDIAL DE SUSTENTABILIDADE - 2019

NEXUS ÁGUA-ENERGIA-AGRICULTURA-INDÚSTRIA: PANORAMA DO CONTEXTO BRASILEIRO

Cássia Juliana Fernandes Torres¹; Bárbara Suzart de Almeida Goodwin²; Andrea Sousa Fontes³; Daniel Veras Ribeiro⁴ & Yvonilde Dantas Pinto Medeiros⁵

RESUMO – Este estudo tem por objetivo elaborar um diagnóstico das inter-relações entre o consumo de água e energia nas atividades agrícola, industrial, energética e de saneamento, visando estruturar o panorama das interligações existentes entre esses elementos no Brasil. Para isso, foram analisados quatro interações, a partir das bases de dados setoriais: Energia para água; água para energia; água e energia para o setor agrícola; água e energia para o setor industrial. Os resultados alcançados apontam que: Existe uma necessidade de estudos que quantifiquem a demanda de água nas usinas instaladas no Brasil para as tipologias de combustíveis fósseis, eólica, solar e biocombustíveis; é preciso identificar o consumo de energia para etapas específicas (coleta, transporte e tratamento) dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário; é preciso viabilizar estudos que quantifiquem o consumo de energia nos diferentes métodos de irrigação; e aprofundamento na quantificação do consumo de água e energia por etapas específicas dos processos produtivos das principais tipologias industriais. Considerando os pontos levantados, recomenda-se a ampliação deste estudo para análise de dois aspectos: impacto das mudanças climáticas em todas as inter-relações identificadas e análise das compensações e sinergias existentes entre os elementos do nexus.

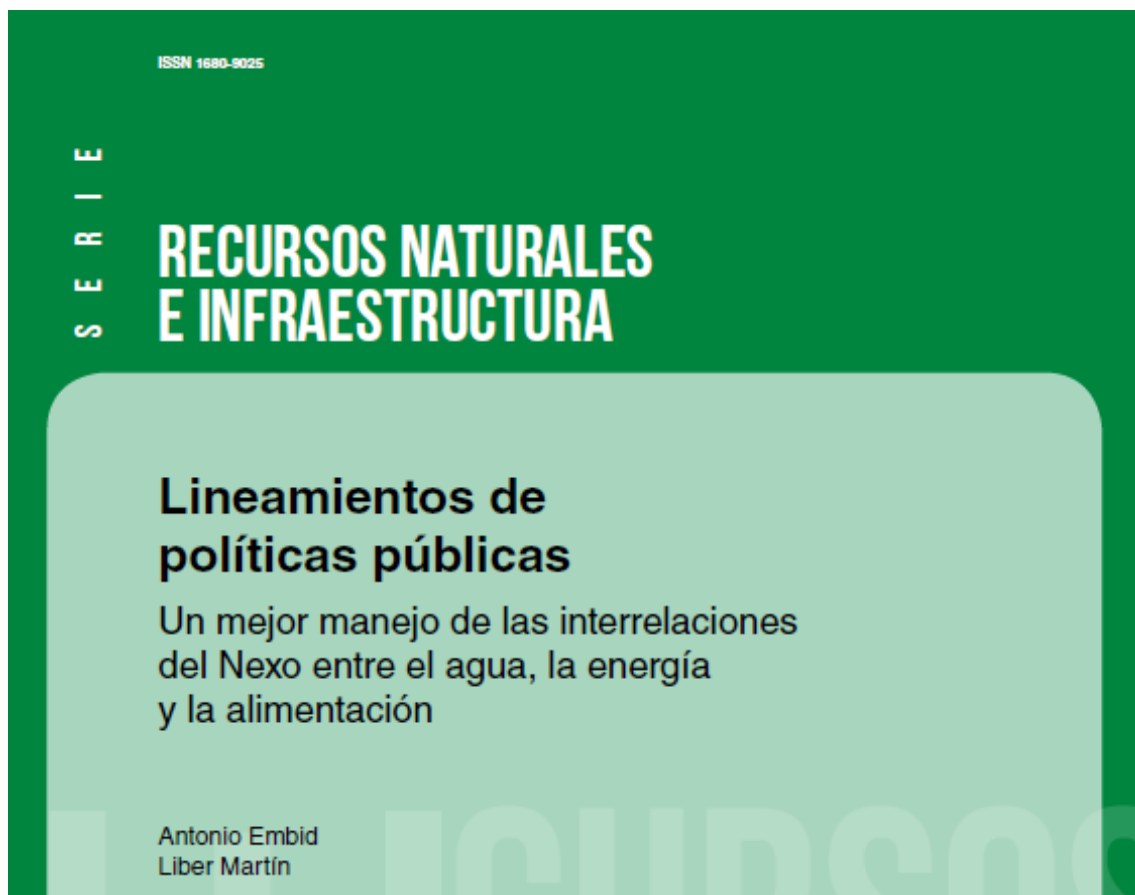
Palavras-Chave – Usinas de energia; consumo de água; produção agrícola

ABSTRACT – This study aims to elaborate a diagnosis of the interrelationships between water and energy consumption in agricultural, industrial, energy and sanitation activities, aiming to structure the panorama of the interconnections between these elements in Brazil. For this, four interactions were analyzed from the sectorial databases: Energy for water; water for energy; water and energy for the agricultural sector; water and energy for the industrial sector. The results obtained indicate that: There is a need for studies that quantify the water demand in plants installed in Brazil for the typologies of fossil fuels, wind, solar and biofuels; energy consumption must be identified for specific stages (collection, transportation, and treatment) of water supply and sewage systems; studies that quantify energy consumption in different irrigation methods must be made feasible; and deepening the quantification of water and energy consumption by specific stages of the production processes of the main industrial typologies. Considering the points raised, it is recommended to extend this study to analyze two aspects: the impact of climate change on all identified interrelationships and analysis of the compensations and synergies between the elements of the nexus.

Key –Words: Power plants; water consumption; agricultural production

APÊNDICE D – Outras contribuições

Participação do Diálogo Regional Político-Técnico sobre “El Nexo entre el Agua, la Energía y la Alimentación”, realizada em maio de 2018 em Santiago/Chile e contribuição no documento desenvolvido pela CEPAL de autoria de Antonio Embid e Líber Martín.



Este documento fue preparado por Antonio Embid y Líber Martín, Consultores de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), bajo la supervisión de Andrei Jouravlev, Oficial de Asuntos Económicos de la Unidad de Recursos Naturales y Energía de la División de Recursos Naturales e Infraestructura de la CEPAL, en el marco de las actividades del proyecto de la CEPAL y la Agencia Alemana de Cooperación Internacional (GIZ) “Nexo agua-energía-agricultura/alimentación en América Latina y el Caribe: políticas públicas para la gestión de las interconexiones entre agua, energía y alimentación” (GER/15/006), financiado a través de la GIZ y con insumos de su programa global Diálogos Regionales del Nexo, implementado por encargo del Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania y por la Unión Europea.

Los autores agradecen los aportes y comentarios de Adrián Rodríguez, Alejandro Girón, Ana María Núñez, André Batalhão, Andres Arroyo, Annukka Lipponen, Carlos Herz, Cássia Juliana Torres, Constanza Lobo, David Fariña, Fernando Reyna, Franz Rojas, Ignacio Benavides, Isabel Pasternack, Ivan Mendoza, José Alberto Zúñiga, José Joaquín Chacón, José Miguel Zeledón, Juan-Cruz Monticelli, Luis Elizondo, Marcelo Tete, Miguel Doria, Miguel Solanes, Patricio Naveas, Raúl Artiga, Raúl Muñoz, Reinaldo Peñailillo, René Salgado, Roberto Esteban, Roberto Olivares, Rubén Contreras, Sally Bunning, Serena Caucci, Shreya Kumra, Soledad Campaña, Soledad Pérez y Tamara Avellán.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad de los autores y pueden no coincidir con las de la Organización.